

# ILUMINAÇÃO EFICIENTE ? ESTUDO DE CASO NO DOMÍNIO DE INFRAESTRUTURA AERONÁUTICA

**LUÍS MANUEL PINTO AZEVEDO**  
julho de 2018

# ILUMINAÇÃO EFICIENTE – ESTUDO DE CASO NO DOMÍNIO DE INFRAESTRUTURA AERONÁUTICA

Luís Manuel Pinto Azevedo



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2018**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Luís Manuel Pinto Azevedo, N° 1121592, [1121592@isep.ipp.pt](mailto:1121592@isep.ipp.pt)

Orientação científica:

Orientador: Prof. Doutor Roque Filipe Mesquita Brandão, [rfb@isep.ipp.pt](mailto:rfb@isep.ipp.pt)

Coorientador: Prof. Doutor Carlos Jorge Ramos Páscoa, [cjpascoa@emfa.pt](mailto:cjpascoa@emfa.pt)

Organização: Força Aérea Portuguesa

Supervisão: Tenente Vítor Manuel Oliveira Teixeira, [vmoteixeira@emfa.pt](mailto:vmoteixeira@emfa.pt)



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2018**



## *Agradecimentos*

A presente investigação teve muitos apoios e incentivos de muitas pessoas.

Gostava de agradecer em primeiro lugar aos meus orientadores.

Ao Coronel (Doutor) Carlos Páscoa, Comandante do Aeródromo de Manobra N°1 (AM1) da Força Aérea Portuguesa pela orientação, força e confiança ao longo do período de escrita o que permitiu criar uma linha de direção necessária para realizar a presente investigação.

Ao Professor Doutor Roque Brandão do Instituto Superior de Engenharia do Porto pela disponibilidade, orientação e acompanhamento prestado desde o início da investigação.

Ao Professor Doutor Carlos Felgueiras do Instituto Superior de Engenharia do Porto pela disponibilidade, sugestões e críticas ao presente trabalho.

Ao Tenente Vítor Teixeira da Força Aérea Portuguesa pela total colaboração que sempre demonstrou, em todas as minhas visitas às infraestruturas aeronáuticas do Aeródromo de Manobra N°1 da Força Aérea Portuguesa, o que permitiu ter uma noção realista do trabalho realizado.

Ao Sargento-Ajudante Costa e ao civil Paulo Costa o meu obrigado por todo o apoio prestado.

Por fim, tendo consciência que sozinho não teria sido possível a realização deste trabalho, um agradecimento especial à minha esposa Marta Monteiro, pelo Amor constante, apoio, incentivo e preocupação prestada. Aos meus filhos, David, Bárbara e Francisca pela compreensão da minha ausência ao longo do meu estudo, pelo apoio incondicional, incentivo e paciência demonstrados e a total ajuda na superação dos obstáculos surgidos. A eles dedico este trabalho.

O meu obrigado a todos que contribuíram para o meu sucesso.

## *Resumo*

A iluminação artificial é fundamental para executar as tarefas inerentes a cada atividade profissional bem como para o lazer. O aumento da produção industrial e consumo associado, implica um aumento de produção de energia para fazer face a esse consumo, caso a Eficiência Energética (EE) se mantenha. No entanto, com o avanço da tecnologia e com a aplicação de novas estratégias energéticas a tendência de crescimento do consumo energético poderá ser atenuada.

Neste momento o avanço tecnológico que está a revolucionar o mercado no setor da energia é o LED (*Light Emitting Diode*), a sua aplicação em iluminação gera uma alta eficiência energética e é a solução mais económica a médio e longo prazo.

A Comissão Europeia tem vindo a impor metas cada vez mais audaciosas na área da eficiência energética. Com a introdução do LED no mercado da iluminação é expectável que se consigam alcançar essas metas definidas.

Esta investigação apresenta o estudo efetuado na infraestrutura aeronáutica do Aeródromo de Manobra Nº 1 (AM1) da Força Aérea em Ovar, que consiste na mudança da iluminação tradicional por iluminação LED. Neste estudo propõe-se reduzir os custos da sustentação da infraestrutura aeronáutica (hangar Norte, hangar Sul, Secção de Assistência e Socorro (SAS) e iluminação das pistas, caminhos de rolagem e estacionamento) de forma a otimizar o consumo energético e assegurar uma trajetória sustentável de redução das emissões de gases efeito de estufa.

Foram identificados diferentes equipamentos de luminárias disponíveis no mercado de modo a se compararem as diferentes valências de cada solução. Para a realização deste projeto luminotécnico usou-se o software DIALux tendo-se como principal foco de estudo a otimização e a eficiência energética.

De forma a melhorar o desempenho energético estudou-se a substituição dos equipamentos de iluminação atuais por equipamentos mais eficientes que irão provocar uma redução considerável na fatura energética e no impacto ambiental.

Esta investigação considera uma certa metodologia. Essa metodologia compreende as etapas seguintes: no primeiro caso realizou-se o levantamento de todos os equipamentos instalados nas infraestruturas e efetuou-se a simulação da iluminação no software DIALux. No segundo e terceiro caso, a mesma simulação foi efetuada usando outros equipamentos para se poder analisar as vantagens em relação à solução atual. O objetivo é demonstrar que o sistema LED pode substituir as fontes de luz tradicionais com redução de custos e redução das emissões de gases efeito de estufa, entre outras vantagens que serão mencionadas nesta investigação.

Na análise dos resultados obtidos pela simulação no software DIALux e dos cálculos efetuados, podemos deduzir, que os sistemas apresentados para substituir os já instalados são mais eficientes economicamente, apesar do investimento inicial ser considerável.

### ***Palavras-Chave***

Eficiência energética, Iluminação em infraestruturas Aeronáuticas, LED, Gases com Efeito de Estufa.





## *Abstract*

Artificial lighting is fundamental to perform tasks inherent to each professional activity as well for leisure. Industrial production and associated consumption increasing implies also an increase in energy production to fulfill that consumption, if of course, Energy Efficiency (EE) is maintained. However, with technology advancement and new energy strategies, grow trend consumption can be attenuated.

Nowadays, the advance technological that is revolutionizing the market is the LED (*Light Emitting Diode*), because they are the luminaires with high Energy Efficiency and the best economical solution on medium and long term.

European Commission is imposing new increasingly stringent targets for Energy Efficiency. With introduction of LEDs in the market for lighting and its low-power characteristic, it is likely that it will meet the European Commission's targets.

This dissertation presents the study carried out on the aeronautical infrastructure of Airfield Maneuver Aerodrome No. 1 (AM1), which consists in the change of traditional lighting by LED lighting. This study aims to reduce the sustaining costs of the aeronautical infrastructure (hangar Norte, hangar Sul, assistance and relief section (SAS), track lighting, etc.) to optimize energy consumption and to ensure a sustainable trajectory to reduce greenhouse gas emissions.

We identify several equipment's available on the market to compare the different valences of each solution. To carry out this lighting project we use DIALux software and with focus on optimization and Energy Efficiency.

To improve energy performance, the study the replacement of the current lighting equipment for a more efficient equipment that will lead to a considerable reduction in energy bills and environmental impact.

This dissertation contemplates the study of three cases. On the first case was made a survey of all equipment installed in the infrastructures and used the DIALux software to simulate

the illumination calculation. On the second and third case, also simulated in DIALux software, was analyzed the advantages in relation to the first case. The purpose was to demonstrate that the LED system could replace the traditional light sources with cost reduction and effect gases greenhouse emissions reduction, among other advantages that will be mentioned in the document.

In the analysis of the results obtained by the simulation in the DIALux software and the calculations made, we can deduce that the systems presented to replace those already installed are more economically efficient, although the investment is considerable.

### ***Keywords***

Energy Efficiency, lighting in aeronautical infrastructures, LED, Greenhouse Gas.

# Índice

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL.....	1
1.2.OBJETIVOS .....	5
1.3.ORGANIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO .....	5
<b>2. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1.A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PORTUGAL.....	7
2.2.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	9
2.3.REGULAMENTOS DA AVIAÇÃO CIVIL .....	10
2.4.ILUMINAÇÃO EM INFRAESTRUTURAS AERONÁUTICAS.....	11
2.5.ESTADO DE ARTE .....	13
2.6.CONSUMO ENERGÉTICO E IMPACTO AMBIENTAL .....	15
2.7.MELHOR VISIBILIDADE COM LUMINÁRIAS LED. ....	15
2.8.HORIZONTE 2020.....	16
<b>3. NOÇÃO DE LUMINOTECNIA.....</b>	<b>19</b>
3.1.CARATERÍSTICAS DAS FONTES LUMINOSAS .....	19
3.2.LÂMPADAS E CARATERÍSTICAS .....	25
3.3.SOFTWARE DIALUX .....	35
<b>4. TRABALHO DESENVOLVIDO NA FORÇA AÉREA.....</b>	<b>37</b>
4.1.CASO DE ESTUDO – AERÓDROMO DE MANOBRA Nº 1 (AM1).....	37
4.2.METODOLOGIA APLICADA .....	37
4.3.REQUISITOS TÉCNICOS .....	49
4.4.ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS .....	49
4.5.ANÁLISE ECONÓMICA .....	81
4.6.VIABILIDADE DO ESTUDO.....	89
4.7.INDICADORES DA AVALIAÇÃO ECONÓMICA.....	95

4.8.CÁLCULO DO VAL, TIR E RETORNO DO INVESTIMENTO .....	96
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>99</b>
5.1.LIMITAÇÕES E MELHORIAS.....	100
5.2.RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	102
<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS A – MATERIAL CONSULTADO PARA A PISTA.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO B – TABELAS DE PREÇOS DAS LUMINÁRIAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO C – IMAGENS DOS HANGARES REALIZADO NO DIALUX.....</b>	<b>119</b>

## *Índice de Figuras*

Figura 1 – Evolução da Dependência Energética de Portugal (%) [1].	2
Figura 2 – Logótipo da International Civil Aviation Organization (ICAO) [15].	11
Figura 3 – Iluminação do Aeródromo de Manobra Nº1 [16].	11
Figura 4 - Evolução da aprovação das luminárias LED pela FAA [24].	14
Figura 5 - Fluxo luminoso em lâmpadas fluorescente [30].	20
Figura 6 - Índice de reprodução de cor e ambientes [30].	21
Figura 7 – Representação gráfica do cálculo de Iluminância [30].	22
Figura 8 – Evolução da eficiência luminosa das lâmpadas (lm/W) [31].	23
Figura 9 – Representação do índice de reprodução de cor [30].	24
Figura 10 – Diferentes temperatura da cor [30].	24
Figura 11 - Lâmpada incandescente [34].	26
Figura 12 - Lâmpada Halogéna [34].	27
Figura 13 - Lâmpada Fluorescente [34].	29
Figura 14 - Constituição do LED [35].	32
Figura 15 - Planta da área de aeródromo do Aeródromo de Manobra Nº1 [16].	37
Figura 16 - Imagem do hangar Norte fornecida em AutoCad [17].	38
Figura 17 - Imagem do hangar no DIALux [17].	39
Figura 18 - Imagem do hangar Norte (DIALux) [17].	40
Figura 19 - Imagem do hangar Sul (DIALux) [17].	43
Figura 20 - Imagem da SAS (DIALux) [17].	46

Figura 21 - Linhas <i>isolux</i> e valores dos níveis de iluminância do hangar Norte [17].	51
Figura 22 - Valores de iluminância no hangar Norte (atual) [17].	51
Figura 23 - Valores de iluminância do hangar Norte (LED Philips) [17].	55
Figura 24 - Valores de iluminância em todo o hangar Norte (LED) [17].	59
Figura 25 - Linhas <i>isolux</i> e valores dos níveis de iluminância do hangar Sul [17].	62
Figura 26 - Valores de iluminância no hangar Sul (atual) [17].	62
Figura 27 - Valores de iluminância em todo o hangar Sul (LED Philips) [17].	65
Figura 28 - Valores de iluminância em todo o hangar Sul (LED) [17].	69
Figura 29 - Valores de iluminância da SAS (atual) [17].	71
Figura 30 - Linhas <i>isolux</i> e valores dos níveis de iluminação da SAS [17].	71
Figura 31 - Valores de iluminância da SAS (LED Philips) [17].	73
Figura 32 - Valores de iluminância da SAS (LED) [17].	75
Figura 33 - Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (hangar Norte) [17].	82
Figura 34 - Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (hangar Sul) [17].	84
Figura 35 - Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (SAS) [17].	86
Figura 36 – Gráfico consumo de energia, custo e emissões CO2 (pista) [17].	88
Figura 37 – Gráfico do consumo total em kWh [17].	92
Figura 38 - Gráfico do custo total em Euros [17].	93
Figura 39 - Gráfico do consumo total em Ton CO2 eq [17].	94
Figura 40 – Hangar Sul exemplo [17].	101

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 - Emissões de CO <sub>2</sub> por setor em 2015 (Milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> ) [7].	8
Tabela 2 – Legenda da Figura 3 [17].	12
Tabela 3 - Gamas distintas de temperatura de cor [5].	24
Tabela 4 – Valores da Lâmpada Standard Incandescente [34].	26
Tabela 5 - Lâmpadas halogéneas [34].	27
Tabela 6 - Descrição do sistema atual do hangar Norte [17].	41
Tabela 7 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, do hangar Norte [17].	42
Tabela 8 - Descrição do sistema atual do hangar Sul [17].	44
Tabela 9 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, do hangar Sul [17].	45
Tabela 10 - Descrição do sistema atual da SAS [17].	46
Tabela 11 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, SAS [17].	46
Tabela 12 – Descrição e quantidades de luminárias na pista [17].	48
Tabela 13 - Iluminância média, de cada divisão do hangar Norte (atual) [17].	50
Tabela 14 - Descrição do hangar Norte com sistema LED Philips [17].	52
Tabela 15 – Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips [17].	53
Tabela 16 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Norte (LED Philips) [17].	54
Tabela 17 - Indicadores do hangar Norte (convencional vs LED Philips) [17].	56
Tabela 18 - Descrição do hangar Norte com sistema LED [17].	57
Tabela 19 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, hangar Norte [17].	58
Tabela 20 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Norte (LED) [17].	59



Tabela 21 - Indicadores do hangar Norte (convencional vs LED) [17].	60
Tabela 22 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (atual) [17].	61
Tabela 23 - Descrição do hangar Sul com sistema LED Philips [17].	63
Tabela 24 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips [17].	64
Tabela 25 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (LED Philips) [17].	65
Tabela 26 - Indicadores do hangar Sul (convencional vs LED Philips) [17].	66
Tabela 27 - Descrição do hangar Sul com sistema LED [17].	67
Tabela 28 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, hangar Sul [17].	68
Tabela 29 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (LED) [17].	68
Tabela 30 - Indicadores do hangar Sul (convencional vs LED) [17].	70
Tabela 31 - Iluminância média, de cada divisão da SAS [17].	70
Tabela 32 - Descrição da SAS com sistema LED Philips [17].	72
Tabela 33 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips, SAS [17].	72
Tabela 34 - Iluminâncias de cada divisão da SAS (LED Philips) [17].	72
Tabela 35 - Indicadores da SAS (convencional vs LED Philips) [17].	73
Tabela 36 - Descrição da SAS com sistema LED [17].	74
Tabela 37 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, da SAS [17].	75
Tabela 38 - Iluminâncias de cada divisão da SAS (LED) [17].	75
Tabela 39 - Indicadores da SAS (convencional vs LED) [17].	76
Tabela 40 – Consumo anual estimado das luminárias da pista [17].	77
Tabela 41 – Material Led a aplicar na pista [17].	77

Tabela 42 - Consumo anual estimado das luminárias da pista em LED [17].	78
Tabela 43 – Indicadores da pista [17].	79
Tabela 44 – Iluminação LED a aplicar na Pista [17].	80
Tabela 45 – Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (hangar Norte) [17].	82
Tabela 46 - Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (hangar Sul) [17].	84
Tabela 47 - Consumo de energia, investimento e emissões CO2 (SAS) [17].	86
Tabela 48 - Consumo de energia, consumo anual e emissões CO2 (pista) [17].	88
Tabela 49 – Consumo no hangar Norte [17].	89
Tabela 50 - Consumo no hangar Sul [17].	90
Tabela 51 - Consumo na SAS [17].	90
Tabela 52 - Consumo da pista [17].	90
Tabela 53 – Comparação consumo total em kWh [17].	91
Tabela 54 – Comparação dos custos totais [17].	93
Tabela 55 – Comparação de emissão de CO2 para a atmosfera total [17].	94
Tabela 56 – Investimento do projeto de cada cenário [17].	96
Tabela 57 - Indicadores de avaliação económica [17].	97
Tabela 58 – Caraterísticas das luminárias utilizadas no hangar Norte [17].	115
Tabela 59 – Orçamento hangar Norte LED [17].	115
Tabela 60 - Orçamento hangar Norte LED Philips [17].	116
Tabela 61 - Caraterísticas das luminárias utilizadas no hangar Sul [17].	117
Tabela 62 - Orçamento hangar Sul LED [17].	117

Tabela 63 - Orçamento hangar Sul LED Philips [17].	118
Tabela 64 - Características das luminárias utilizadas na SAS [17].	118
Tabela 65 - Orçamento da SAS LED Philips [17].	118
Tabela 66 – Orçamento da SAS LED [17].	118

## *Acrónimos*

AM1	–	Aeródromo de Manobra N° 1
ANAC	–	Autoridade Nacional da Aviação Civil
AP	–	Acordo de Paris
cd	–	Candela
CELE	–	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CO <sub>2</sub>	–	Dióxido de Carbono
E	–	Iluminância
EE	–	Eficiência Energética
Em	–	Iluminância média
ENE 2020	–	Estratégia Nacional para a Energia 2020
FAA	–	<i>Federal Aviation Administration</i>
GEE	–	Gases de Efeito de Estufa
I	–	Intensidade Luminosa
ICAO	–	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IRC	–	Índice de Reprodução de Cores
K	–	Kelvin
Kg	–	Quilograma
L	–	Luminância
LED	–	<i>Light Emitting Diode</i>

lm	– Lúmen
lx	– Lux
Mton	– Mega tonelada
<i>PAPIS</i>	– <i>Precision Approach Path Indicators</i>
PNAC	– Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	– Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PRC	– Posto de Regulação e Controlo
QEPiC	– Quadro Estratégico para a Política Climática
RSECE	– Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SAS	– Secção de Assistência e Socorro
SCE	– Sistema de Certificação dos Edifícios
TIR	– Taxa interna de rentabilidade
UE	– União Europeia
URE	– Utilização racional de energia
VAL	– Valor atual líquido
W	– Watt





# 1. INTRODUÇÃO

Em Portugal é necessário tomar medidas para a redução de consumo de eletricidade nomeadamente em sistemas de iluminação. Com a entrada em vigor dos regulamentos dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e Sistema de Certificação dos Edifícios (SCE) foram introduzidas no mercado novas regras de racionalização de energia. Desta forma os projetistas vão tomar conhecimento dos limites de potência máxima a instalar nos edifícios e assim evitar o sobredimensionamento da instalação, contribuindo para uma melhor eficiência energética e uma redução de custos.

Para realizar um projeto luminotécnico torna-se necessário realizar o levantamento das necessidades do cliente com a finalidade de conciliar a iluminação artificial em função de cada ambiente. É muito importante o estudo do local, de modo a calcular a quantidade de luz necessária a instalar para garantir o cumprimento dos regulamentos e a escolha das luminárias.

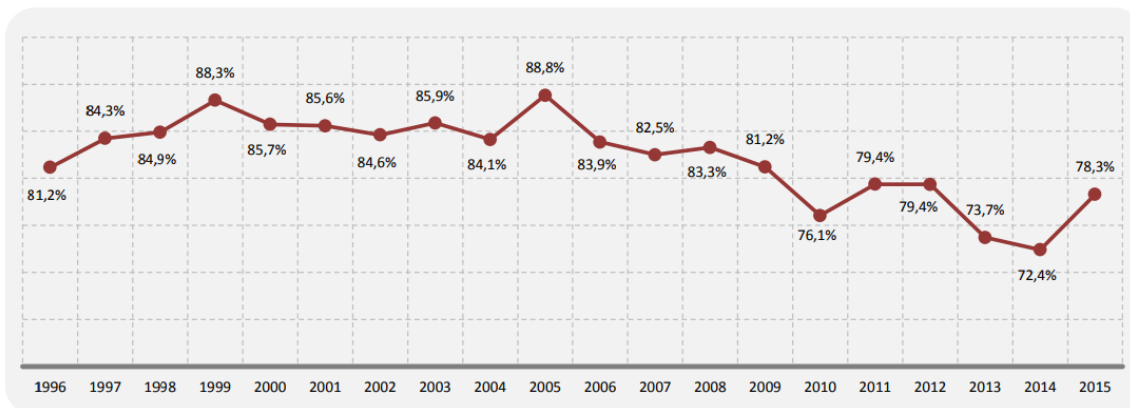
## 1.1. CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL

Devido ao crescimento demográfico da população a sociedade confronta-se com um problema a nível energético, ou seja, o aumento da utilização da energia elétrica.

Com o avanço tecnológico, social e económico a sociedade moderna enfrenta problemas a nível energético e a nível ambiental, pois é importante reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Contudo, o ser humano está cada vez mais dependente dessa energia para efetuar as suas necessidades diárias. Para reduzir o consumo de combustíveis fósseis tem de se apostar nas energias renováveis e racionalização dos recursos de forma a contribuir para a otimização da EE.

Portugal apresenta uma dependência energética de cerca de 80%. Assim, um dos principais objetivos de Portugal é de reduzir a dependência energética do exterior. O principal motivo deve-se à ausência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o gás natural e o petróleo. Pela análise da Figura 1 constatamos que a dependência energética em Portugal não tem ultrapassado os 80% nos últimos anos [1].





**Figura 1 – Evolução da Dependência Energética de Portugal (%) [1].**

Em 2015 Portugal ocupou o 7º lugar entre os países da União Europeia (UE) com maior dependência energética, existiu uma regressão, pois em 2014 Portugal estava em 9ª dependência energética mais elevada [1].

Ao longo dos tempos, houve algumas preocupações ambientais e as recentes alterações do preço de energia provocaram na sociedade bem como em alguns órgãos administrativos, a necessidade de implementar ideias de racionalização de energia e Eficiência Energética.

Com o intuito de combater o consumo de energia e o impacto ambiental foram desenvolvidos vários diplomas a nível mundial, europeu e nacional que levam e criam condições para o investimento em medidas de Eficiência Energética e proteção do ambiente.

Nos dias de hoje, existe uma maior consciência para a eficiência de energia e poupança de custos, como também para a preservação do meio ambiente que nos rodeia, nomeadamente, a emissão de  $CO_2$  para a atmosfera que leva a um aumento da temperatura, dos Gases de Efeito de Estufa (GEE) e o aumento do buraco do ozono.

O setor de energia constitui cerca de 70% das emissões de GEE, mas as emissões GEE tem vindo a diminuir nos últimos anos devido a medidas adotadas no setor de energia. Como exemplo, o setor energético tem emissões totais de GEE de 44,0 Mton  $CO_{2e}$ , dados referentes a 2014. Comparando 2013 com 2014 verifica-se que as emissões do setor energético decresceram 0,9%.

Verificou-se que Portugal em 2014 apresentou valores mais baixos de emissões de GEE por habitante, cerca de 26% abaixo do valor médio registado na UE [1].

A forma como se produz e se consome a energia elétrica é importante. Para o combate contra o consumo excessivo de energia e sem desperdício da mesma temos ao nosso dispor dois fatores que nos ajudam nesse sentido, são eles a Utilização Racional de Energia (URE) e a Eficiência Energética (EE).

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para Portugal, mas mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de  $CO_2$  – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto.

Os GEE existem naturalmente na atmosfera, mas a sua emissão tem aumentado na última década devido às atividades humanas, no que respeita à queima de combustíveis fósseis, ao abate da floresta tropical e à pecuária, daí ser urgente reduzir essas emissões. Reduzir ou evitar emissões poluentes é importante e urgente [2] [3].

Nesta investigação vamos analisar e estudar o impacto da iluminação na infraestrutura aeronáutica de uma Base Aérea, pois a iluminação tem um impacto no consumo de energia em edifícios não residenciais de 40% da eletricidade utilizada. Se existir investimento em sistemas de iluminação energeticamente mais eficientes podemos reduzir entre 30% a 50% a eletricidade utilizada na iluminação, apostando em lâmpadas e balastros mais eficientes e que emitam menos poluição [4].

Neste sentido existe a necessidade de realizar estudos luminotécnicos para que o circuito de iluminação seja energeticamente mais eficiente, isto é, gerar a máxima iluminância (E) para a qual foi realizado o estudo com a menor quantidade de energia elétrica possível, respeitando sempre a norma EN12464-1 [5].

Na UE, o consumo de energia elétrica em iluminação traduz mais de 12% do consumo total no setor residencial. Cerca de 60% da fatura de eletricidade no setor de serviços é devido à iluminação e de uma habitação, essa percentagem, pode chegar a 20%. A situação no nosso país é semelhante.

No setor residencial a iluminação representa cerca de 12% do consumo de energia elétrica e no setor de serviços a percentagem sobe para 20%. Em ambos os setores existe elevado potencial de economia de energia que se pode explorar [6].

De forma a evitar que os consumos energéticos aumentem drasticamente, é necessário que exista incentivos para a racionalização de energia nos edifícios em construção ou reabilitação [6].

O Acordo de Paris (AP) é um acordo mundial sobre as alterações climáticas alcançado em 12 de dezembro de 2015, em Paris. Este acordo visa alcançar a descarbonização das economias mundiais e estabelece o objetivo de limitar o aumento da temperatura média global a níveis bem abaixo dos 2 °C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C, reconhecendo que isso reduzirá significativamente os riscos e impactos das alterações climáticas.

Ficou definido que o AP entraria em vigor 30 dias depois da data em que pelo menos 55 países, representando pelo menos 55% das emissões de GEE, depositassem os respetivos instrumentos de ratificação, aceitação, aprovação ou acesso.

A 21 de setembro de 2015, 60 países haviam já ratificado o AP, superando assim um dos dois critérios e no dia 5 de outubro de 2016, menos de um ano depois da adoção do AP, a ratificação da UE e alguns dos seus Estados Membros, incluindo Portugal, permitiu alcançar o limiar estabelecido para a entrada em vigor do AP com a superação do segundo critério [7].

As alterações climáticas são uma realidade e uma prioridade nacional, face aos seus impactos futuros sobre a nossa sociedade, economia e ecossistemas. São cada vez mais os estudos científicos e as instituições internacionais que demonstram as mudanças no sistema climático global. Os estudos efetuados também indicam que Portugal se encontra entre os países europeus com maior vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas.

A resposta política e institucional nesta matéria foi atualizada e desenvolvida, encontrando-se espelhada nas propostas relativas ao Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC) que inclui, nas vertentes de mitigação e adaptação em alterações climáticas, os principais instrumentos de política nacional, dos quais se destacam o Programa Nacional

para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC 2020). Na vertente de mitigação inclui também a implementação do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) [7].

Efetivamente, no âmbito da sua estratégia de redução de emissões de GEE e como forma de garantir o cumprimento eficaz dos seus objetivos, a UE aprovou a Diretiva 2003/87/CE, de 13 de outubro, que criou o mecanismo do Comércio Europeu de Licenças de Emissão, que se encontra atualmente transposta para a ordem jurídica interna pelos Decreto-Lei n.º 38/2013, de 15 de março e Decreto-Lei n.º 93/2010, de 27 de julho. A aplicação do regime CELE teve o seu início em 2005, tendo decorrido entre 2005 e 2007 o primeiro período, considerado pela Comissão Europeia como experimental e essencialmente de aprendizagem para o período subsequente: 2008-2012, que coincidiu com o período de cumprimento do Protocolo de Quioto [7].

Portugal representa cerca de 0,12% das emissões mundiais, com 65 milhões de toneladas por ano, mas está integrado na UE, responsável por cerca de 12% das emissões totais.

## **1.2. OBJETIVOS**

Com base nas normas e especificações definidas no acordo de Chicago da *International Civil Aviation Organization* (ICAO) – *Annex 14 Volume I, Aerodrome Design and Operation – Seventh Edition, July 2016* [8], esta investigação tem os objetivos seguintes:

- Identificar a situação atual da iluminação da infraestrutura aeronáutica do Aeródromo de Manobra Nº 1 (AM1) da Força Aérea, no hangar Norte, no hangar Sul, na secção de assistência e socorro (SAS) e na pista, caminhos de rolagem e estacionamento.
- Analisar a eficiência do sistema atual e propor a substituição dos equipamentos instalados por equipamentos mais eficientes tendo em vista a redução de consumo de energia, do custo e das emissões de GEE.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

A presente investigação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No primeiro capítulo faz-se a introdução onde é descrito o panorama energético a nível nacional, bem como os objetivos propostos.

O segundo capítulo faz um enquadramento onde é realizada a revisão da bibliografia. A eficiência energética em Portugal, a sua situação e descrição. Enuncia-se legislação aplicável em vigor e normas no contexto do trabalho realizado. Abordam-se aspetos legais e destaca-se o programa Horizonte 2020.

O terceiro capítulo versa conceitos de Luminotecnia como fluxo luminoso, e iluminância, entre outros. Descreve as características das lâmpadas e traz noções de alguns temas importantes para compreender o trabalho realizado.

No quarto capítulo é feita a descrição do trabalho desenvolvido na Força Aérea Portuguesa, onde é feita a descrição e metodologia aplicada para a realização do estudo. São identificados os consumos atuais e comparados com o estudo realizado no DIALux. No software DIALux foram simulados vários cenários para o hangar Norte, hangar Sul e SAS, de forma a comparar a situação atual com as soluções propostas e assim contribuir para o aumento de eficiência energética. Esses cenários foram:

- Situação atual;
- Situação LED Philips;
- Situação LED.

É analisada a viabilidade da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos que utilizem a tecnologia *Light Emitting Diode (LED)*.

A conclusão da investigação reserva-se para o quinto capítulo, onde é realizada uma síntese das conclusões do estudo feito.

## 2. ENQUADRAMENTO

### 2.1. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PORTUGAL

A eficiência energética, para além de uma oportunidade, é cada vez mais uma necessidade. Atualmente vive-se uma época em que a energia é muito importante para o desenvolvimento das nações. A contrapartida do uso intensivo de energia, nas suas diversas formas, revela-se na destruição progressiva do meio ambiente e na degradação da qualidade de vida.

Em 2015, a produção de eletricidade foi responsável por cerca de 40% das emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) em Portugal. A implementação de soluções que minimizem o impacto ambiental, nomeadamente através do incentivo às fontes renováveis, da utilização de combustíveis mais limpos e da gestão dos consumos irão ajudar a reduzir as emissões de  $CO_2$  [8].

Os objetivos gerais na gestão de energia nas empresas são:

- Controlar o consumo de energia;
- Reduzir os custos com a energia;
- Melhorar as condições de trabalho e de produção;
- Satisfazer as orientações governamentais;
- Reduzir as emissões de  $CO_2$ .

O setor de energia está em constante alteração, muito devido ao crescimento demográfico da população, como já foi referido. A forma do Governo de abordar as questões ambientais relacionadas à energia tem-se vindo a modificar e é motivada pela preocupação com a sustentabilidade ambiental, a competitividade económica, a segurança energética, a poluição do ar e as mudanças climáticas. O objetivo é criar um sistema de energia global limpo, sustentável e acessível. A produção de energia é responsável por aproximadamente dois terços do total de emissões de GEE e por cerca de 28% de  $CO_2$ . Qualquer esforço para reduzir as emissões e mitigar as mudanças climáticas deve incluir o setor de energia [7].

**Tabela 1 - Emissões de  $CO_2$  por setor em 2015 (Milhões de toneladas de  $CO_2$ ) [7].**

	Emissões totais $CO_2$ (combustão combustível)	Produção eletricidade calor	Outra energia	Indústria construção	Transporte	Outros setores	Residenciais
Portugal	47.0	19.0	2.7	5.6	15.8	4.0	1.8

As primeiras medidas de eficiência energética foram direcionadas para a produção de energia de forma a pesquisar as fontes energéticas com o menor impacto para a natureza.

Essas estratégias foram seguidas principalmente pelos países mais desenvolvidos para usufruir de fontes como o gás natural e de desenvolver fontes de energia alternativas (eólica e solar) [7].

No que diz respeito às metas nacionais de eficiência energética, o Decreto-Lei n.º 319/2009, de 3 de novembro, que transpõe a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estabelece que Portugal deve procurar atingir um objetivo global nacional indicativo de economias de energia de 9% para 2016, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética [9].

De uma forma mais ambiciosa, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) - Portugal Eficiência 2015, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio, previa uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10% do consumo final de energia até 2015 [9].

Portugal comprometeu-se, ainda, de forma a ir de encontro com as políticas europeias de combate às alterações climáticas (Pacote Energia-Clima 2020), e está empenhado em contribuir para os objetivos de UE no setor da Energia.

Por outro lado, a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), estabelecida na Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de abril, enquadra as linhas de rumo para a competitividade, o crescimento e a independência energética do país, através da aposta nas energias renováveis e na promoção integrada da EE, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético [10].

Esses objetivos estão estabelecidos em três patamares:

Até 2020,

- 20% de redução, pelo menos, das emissões de GEE relativamente aos níveis de 1990;
- 20% da energia obtida a partir de fontes renováveis;
- 20% de melhoria da eficiência energética;

Até 2030,

- 40% de redução das emissões de GEE;
- 27% da energia da UE, pelo menos, obtida a partir de fontes renováveis;
- 27-30% de aumento da eficiência energética;
- 15% de interligação elétrica (ou seja, 15% da eletricidade produzida na UE pode ser transferida para outros países da UE);

Até 2050,

- 80-95% de diminuição das emissões de GEE relativamente aos níveis de 1990.

Em Portugal a Iluminação Pública é responsável por 3% do consumo energético [10].

## **2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO**

Como a iluminação natural diária está limitada por natureza, é necessário utilizar a iluminação artificial para realizar atividades onde seja necessária a utilização da iluminação. A eficiência energética em sistemas de iluminação implica a implementação de medidas para combater o desperdício de energia durante o processo de transformação. A implementação de novas regras veio modificar o pensar do projetista de forma a implementar medidas de eficiência energética na execução do seu projeto.



O projetista começa por realizar uma avaliação energética de todos os consumos para qual o trabalho está a ser projetado ou em estudo, de forma a saber quais as características luminotécnicas que estão instaladas na zona a que se vai realizar o estudo.

No mercado existem diversas alternativas e soluções para promover a eficiência energética em sistemas de iluminação na perspectiva de se obter o mesmo nível de conforto visual, mas com um consumo de energia inferior. Não se deve reduzir os níveis de iluminação recomendados com o objetivo de reduzir o consumo de energia, porque se se optar por essa medida, as condições de conforto não serão as ideais bem como a satisfação dos utilizadores do espaço, derivando num decréscimo de produtividade. Terá, portanto, que existir sempre um equilíbrio entre a qualidade de iluminação e a eficiência energética.

## **2.3. REGULAMENTOS DA AVIAÇÃO CIVIL**

A Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) tem como função fiscalização, regulação e supervisão do setor da aviação civil em Portugal. Trata-se de pessoa coletiva de direito público, dotada de autonomia administrativa independente e possui um património próprio. No setor da aviação civil a ANAC é a autoridade nacional responsável pelas atividades relacionadas com a aviação civil [11].

### **2.3.1. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO)**

Em 1944 foi criado pelos estados uma organização, a ICAO, no intuito de administração e governar a Aviação Civil Internacional, também conhecida por convenção de Chicago. A convenção de Chicago foi assinada por Portugal a 7 de dezembro de 1944 [12].

No presente, a ICAO é constituída por 192 Estados Membros e grupos industriais da Convenção, de forma a colocar em prática as normas da Aviação Civil Internacional [13].

A ICAO adotou normas internacionais no âmbito da aviação civil internacional, designadas por anexos à convenção. Atualmente existem 18 anexos. Dos anexos existentes o que está diretamente associado à construção de aeroportos é o Anexo 14 Vol. I. Neste anexo encontra-se descrito os requisitos sobre aeroportos, os aspetos de planificação, desenho e as operações dos aeroportos [14]. O logótipo da ICAO está representado na Figura 2.



Figura 2 – Logótipo da International Civil Aviation Organization (ICAO) [15].

## 2.4. ILUMINAÇÃO EM INFRAESTRUTURAS AERONÁUTICAS

A segurança do tráfego aéreo tem de ser garantida. A segurança dos aeroportos tem uma componente muito importante que é a iluminação, pois é a iluminação que fornece orientação, sinalização e delimita as pistas das aeronaves.

### 2.4.1. DESCRIÇÃO DA INFRAESTRUTURA

A Figura 3 representa a infraestrutura aeronáutica do AM1. Nesta figura está inserido o caso de estudo da investigação, a iluminação. A Tabela 2 apresenta a legenda da Figura 3.

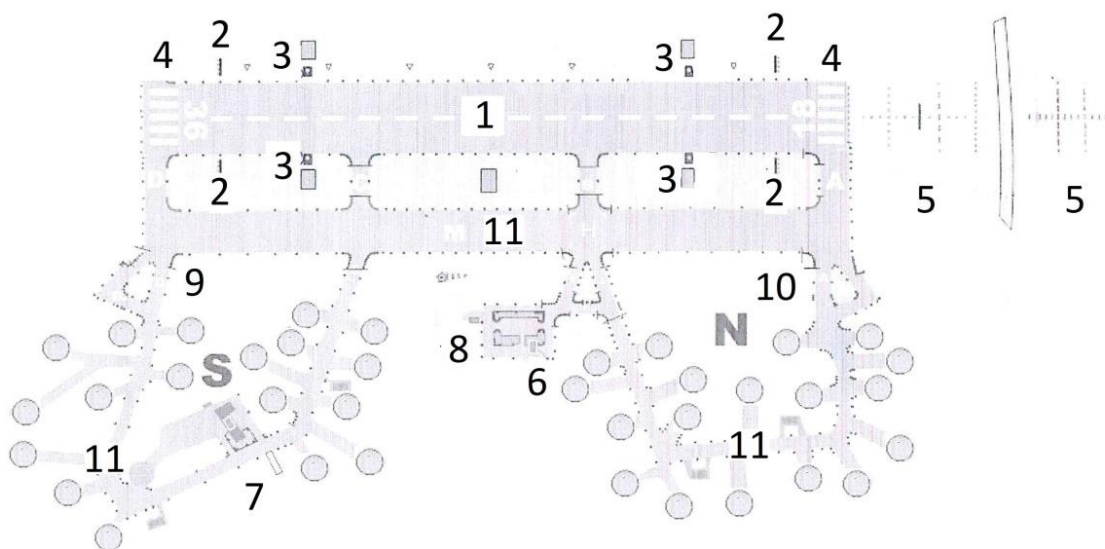


Figura 3 – Iluminação do Aeródromo de Manobra Nº1 [16].

**Tabela 2 – Legenda da Figura 3 [17].**

Nº	Designação	Nº	Designação
1	Pista	7	Hangar Sul
2	<i>PAPIS</i>	8	SAS
3	Barreiras	9	PRC Sul
4	Soleira	10	PRC Norte
5	<i>Approach</i>	11	<i>Taxiway</i>
6	Hangar Norte		

#### **2.4.2. DEFINIÇÕES**

De forma a enquadrar a temática da pista de aviação, procede-se à definição dos termos utilizados na categoria de aeroportos quanto às luzes de pista [18][19].

**Pista** – Num aeródromo terrestre a pista é definida como sendo a área retangular para aterragem e descolagem de aeronaves. As luzes da pista delimitam a pista e emitem luz branca, com exceção da zona de perigo. As luzes limite de pista fornecem indicação da aproximação do fim de pista e podem ser omni ou unidireccionais [20]. Futuramente por “Pista” entende-se o conjunto de iluminação das pistas, caminhos de rolagem e estacionamentos).

**Soleira de pista** – A soleira é considerada o início da pista por onde se realizam as aterragens.

***PAPIS (Precision Approach Path Indicators)*** – É um sistema que através de luzes vermelhas e brancas indicam ao piloto a razão de descida ideal para uma correta aterragem. Duas luzes vermelhas e duas brancas indicam a razão de descida correta, mais do que duas luzes vermelhas indicam que irá aterrar antes do início da pista e mais do que duas luzes brancas indica que irá aterrar já muito dentro da pista.

***Taxiway*** – Caminho de circulação num aeródromo destinado à circulação de aeronaves. As luzes do *taxiway* definem os limites laterais de um caminho que estabelece a ligação entre uma parte do aeródromo e outra. Emitem luz azul omni- direcional. As luzes *taxiway* utilizam-se quando está escuro ou quando a visibilidade é reduzida, sendo que a sua intensidade pode ser regulada conforme a necessidade [20].

**Hangar** – São áreas cujo espaço se destina à realização de reparações, manutenções e abrigo de aeronaves.

## **2.5. ESTADO DE ARTE**

O ser humano desde cedo dedicou esforços para desenvolver formas para iluminar as suas tarefas diárias bem como os seus momentos de lazer. O homem dependia da luz natural para desenvolver a maioria das suas tarefas do dia a dia e o sol era a única fonte de luz natural [21].

Nessa época o fogo era utilizado para cozinhar, iluminar, afastar os predadores e inimigos. A fogueira foi uma forma de iluminação das cavernas, aparecendo mais tarde as tochas, uma forma de iluminar o ambiente de forma mais controlada. Com a criatividade do homem surge então a vela para criar a iluminação. As pinturas em cavernas demonstram que as primeiras velas eram recipientes cheios de gordura animal em estado líquido e com fibras de plantas a funcionarem como pavios.

Com as velas outros tipos de luminárias foram surgindo, como os castiçais. Mas foi em 1879 que Thomas Edison obteve bons resultados quando realizou uma lâmpada feita com algodão carbonizado dentro de um bolbo a vácuo, em que esta brilhou por 45 horas seguida. Esta descoberta veio substituir o uso das velas, lampiões a gás e tochas de madeira. Thomas Edison com esta descoberta transformava a invenção da lâmpada incandescente em algo comercializável. A maior dificuldade dos inventores na construção de fontes de luz à base da energia elétrica foi a de encontrar um filamento que não libertasse partículas para a ampola, provocando uma redução da luminosidade. Atualmente utiliza-se um filamento de tungsténio, que devido às suas propriedades, pode atingir 3000°C de temperatura. Mas para evitar que os filamentos fiquem em combustão foi retirado todo o ar das lâmpadas, substituindo este por gases inertes, nitrogénio e argon [22].

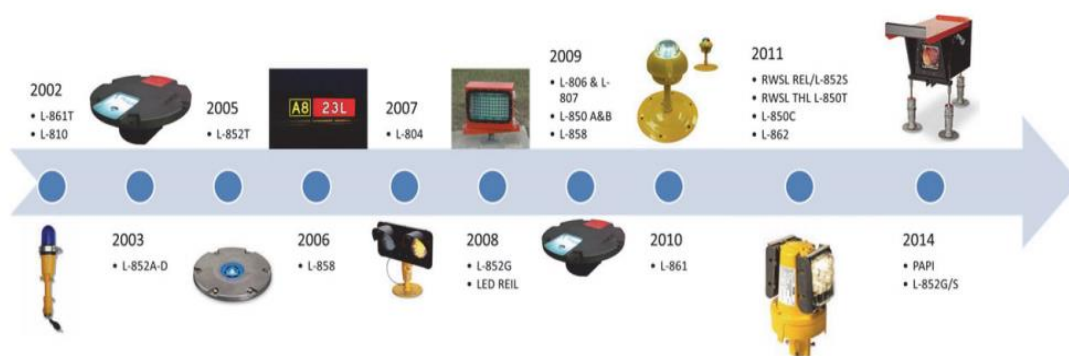
Foi no ano de 1958 que surgiram as lâmpadas halogénas, mais compactas de maior durabilidade e que produziam uma luz mais intensa. Mais tarde surgiram as lâmpadas fluorescentes, as quais produzem o fluxo luminoso a partir da emissão de fotões de luz produzidos pelo choque de eletrões com uma mistura de gases. À medida que a tecnologia avançou em 1961 deu-se a descoberta da tecnologia LED por Bob Biard e Gary Pittman, ambos cientistas da Texas Instrumentes. Descobriram que o Arsenieto de Gálio, quando percorrido por uma corrente elétrica, emitia uma radiação infravermelha invisível a olho nu.

Após esta descoberta, foram inúmeras as aplicações que surgiram para aplicar a tecnologia LED. Com o aparecimento do LED, a implementação em pistas de aviação não tardou.

O LED apresenta grande variedade de cor, intensidade luminosa (I) e geometria. Estes fatores, são importantes na utilização em pistas, *taxiway* e controlo do tráfego, pois fornecem indicações para de segurança para as aeronaves bem como para todas as pessoas de apoio terrestre às aeronaves.

A iluminação dos aeródromos é importante pois a sua disposição e as suas cores fornecem informações e orientações visuais. A implementação da tecnologia LED em aeródromos tornou-se muito comum na última década. A entidade que regula a certificação dos dispositivos elétricos de iluminação LED é a *Federal Aviation Administration* (FAA) sob a circular AC 150/5345-53 [23].

Inicialmente foram desenvolvidos sistemas de iluminação LED para *taxiway*. Esses sistemas foram expandidos para iluminação de sistema de aproximação e de pista. Uma razão deste facto é que a iluminação dos *taxiway* a nível de exigências são inferiores do que os de pista de acordo com AC 150/5345-46 da FAA. Os requisitos fotométricos para luminárias LED e para luminárias incandescentes são os mesmos. Na Figura 4 mostra a evolução dos sistemas de iluminação LED aprovados pela FAA.



**Figura 4 - Evolução da aprovação das luminárias LED pela FAA [24].**

Foi no início dos anos de 2000 que foi introduzida a tecnologia LED na iluminação dos aeródromos.

Com o avanço da tecnologia, as luminárias LED de aeródromos melhoraram ao longo de várias gerações de produção, mas como o avanço tecnológico é muito rápido, as gerações de luminárias mais antigas começam a ficar obsoletas.

Com os requisitos da FAA, as luminárias têm de obedecer a certos requisitos fotométricos impostos.

Com a competitividade entre os fabricantes de LED e o avanço tecnológico, o desafio dos fabricantes é de continuarem a fabricar ou fornecer peças sobresselentes para que sejam compatíveis com as luminárias de gerações mais antigas. Os fabricantes de iluminação de aeródromos tentam assegurar assim a compatibilidade entre gerações e avanços tecnológicos.

As gerações mais recentes de luminárias estão equipadas com uma interface que pode admitir várias mudanças de tecnologia LED [24].

## **2.6. CONSUMO ENERGÉTICO E IMPACTO AMBIENTAL**

Um dos fatores a ter em conta quando se projeta uma instalação LED em infraestruturas aeronáuticas é o de reduzir o consumo energético e diminuir o impacto ambiental, propósito da realização desta investigação. Outros motivos para se aplicar uma instalação LED são a redução dos custos de manutenção, melhorar a qualidade da iluminação, reduzir as emissões de  $CO_2$  para a atmosfera e cumprir com a legislação Nacional de energia.

O uso de transformadores de menor potência necessários para alimentar os LED resulta num menor consumo de energia. Essa diminuição de consumo energético encontra-se entre 20 a 40%. As luminárias LED requerem entre 50 a 75% menos energia do que as luminárias halogéneas. Se analisamos todo o aeródromo essa diminuição no consumo de energia representa uma enorme economia [24].

## **2.7. MELHOR VISIBILIDADE COM LUMINÁRIAS LED.**

A razão de trocar a iluminação halogénea para instalar iluminação LED é a visibilidade. As cores azuis, verdes e brancas em LED parecem mais brilhantes do que as fontes halogéneas.

As lâmpadas halogéneas ao longo da sua vida útil tendem a tornarem-se “amareladas” devido ao seu escurecimento, o que não acontece com os LED. Desse modo, a iluminação do aeródromo em LED irá melhorar a orientação dada aos pilotos o que ajuda na diminuição de acidentes durante os períodos de escuridão ou de baixa visibilidade [25].

O LED produz uma cor facilmente distinguível e com uma tonalidade estável, independentemente do brilho. As lâmpadas halogéneas tendem a emitir tons amarelados com correntes baixas, o que não acontece com o LED.

O LED branco mantém sempre a tonalidade mesmo quando diminuimos a corrente e por consequência o brilho diminui. Este desempenho do LED melhora a qualidade visual para os pilotos e por inerência a segurança [26].

Ao substituir as luminárias dos *taxiway* convencionais pelas luminárias LED, verifica-se que a luz azul parece ser mais brilhante ao ser avistada pelo piloto, isto deve-se às características da luz LED azul, pois tem maior comprimento de onda que é captada pelo olho do ser humano [25].

Ao comparar as fontes de LED com as lâmpadas halogéneas na comutação, verifica-se que o LED tem menor intensidade do que a lâmpada halogénea, mas no acender e no desligar o LED é mais eficaz do que as lâmpadas halogéneas. Esta situação deve-se às características dos LED, pois o ligar e o desligar é imediato. A principal diferença entre uma luminária LED e uma luminária halogéneas é que uma luminária LED contém componentes eletrónicos.

A substituição das luminárias tradicionais antigas pelas luminárias LED podia-se realizar gradualmente. O investimento seria gradual. Mas para que tal não aconteça existe uma circular AC 150/5340-30G que a FAA impôs. Esta circular indica que a iluminação LED pode substituir a iluminação halogénea quando se substituir o sistema de iluminação inteiro de um circuito [24].

## **2.8. HORIZONTE 2020**

O programa Horizonte 2020 está muito presente, pois existe uma preocupação do Conselho Europeu em aumentar a eficiência energética na UE, de modo a limitar as alterações climáticas e a ultrapassar a crise económica.

O Horizonte 2020 é um programa criado de forma a existir investigação e inovação na UE. Este programa assenta em três pilares: liderança industrial excelência científica e desafios sociais.

O horizonte 2020 apoia todas as tecnologias revolucionárias de forma a inovar nos diversos setores [27].





### 3. NOÇÃO DE LUMINOTECNIA

De modo a se ter uma noção de luminotecnica serão descritos neste capítulo alguns conceitos e definições dos mesmos.

#### 3.1. CARATERÍSTICAS DAS FONTES LUMINOSAS

A iluminação é um dos grandes causadores de consumo de energia elétrica, sendo responsável por 20% de energia consumida no país.

A iluminação é responsável pelo maior consumo de energia pelo que é necessário reduzir esse consumo sem diminuir os níveis de iluminação. Neste sentido sendo a iluminação natural insuficiente para realizar as tarefas de forma eficaz e segura é necessário utilizar equipamentos de iluminação artificial.

A eficiência energética da lâmpada utilizada na instalação está diretamente relacionada com o consumo de energia elétrica para o sistema de iluminação.

##### 3.1.1. VIDA ÚTIL

A vida útil de uma lâmpada é o número de horas em que a lâmpada fica acesa sem que a quantidade de luz inicial seja reduzida em 30%, neste caso existe uma diminuição do fluxo luminoso da lâmpada [28].

A diminuição do fluxo luminoso ao longo da vida útil da lâmpada é devido a vários fatores, tais como, a durabilidade da própria lâmpada, do número de horas prevista de funcionamento, o acumular de poeiras na superfície da lâmpada e do refletor, entre outros.

O custo de manutenção para realizar a troca de lâmpadas será tanto menor quanto maior for a durabilidade e a vida útil das lâmpadas, neste caso a economia é maior.

##### 3.1.2. FLUXO LUMINOSO

O fluxo luminoso ( $\phi$ ) é o fluxo radiante emitido por uma lâmpada dentro do espectro visível, e também, ponderado pela curva de sensibilidade relativa. Expressa a capacidade de reproduzir uma sensação luminosa. A sua unidade de medida é o lúmen (lm) [29].

O fluxo luminoso influencia a eficiência dos dispositivos, mas esta grandeza não pode ser considerada uma medida de eficiência energética. No mercado existem lâmpadas que apresentam a mesma potência, mas que irradiam fluxos luminosos diferentes entre si. Quando se efetua um estudo luminotécnico de uma instalação temos de ter em conta o fluxo luminoso que está instalado e propor a substituição das lâmpadas existentes por outras, mas que apresentem um fluxo luminoso equivalente, sem contradizer as características de iluminação do espaço a iluminar.

A iluminância média ( $E_m$ ) é considerada, porque o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente e a iluminância não se reflete de forma igual em todos os pontos da área a iluminar.

Existem normas que apresentam em tabelas o valor mínimo de iluminância média ( $E_m$ ) para a iluminação nos locais de trabalho interiores referentes a diversas atividades, de forma a existir um conforto visual agradável para desempenhar o trabalho com uma boa iluminação. A norma EN12464-1 faz referência aos requisitos quantitativos da luz e da iluminação. A norma não refere a solução de iluminação com LED para utilizar técnicas de baixo consumo energético, mas aplica-se os mesmos critérios de forma a reduzir o consumo energético [5]. A Figura 5 demonstra o fluxo radiante emitido por uma lâmpada fluorescente.



**Figura 5 - Fluxo luminoso em lâmpadas fluorescente [30].**

### 3.1.3. ÍNDICE REPRODUÇÃO DE COR

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é a capacidade que uma fonte luminosa possui de forma a restituir fielmente as cores de um objeto ou superfície. O índice varia entre 0% (sem fidelidade) e 100% (máxima fidelidade) [30].

Quando se pretende uma boa fidelidade de reprodução de cor temos de optar por lâmpadas com Índice de Reprodução de Cores (IRC) próximo de 100% de fidelidade. Nesta situação não podemos colocar a eficiência energética em detrimento do IRC sem ter em conta a função para a qual esta vai desempenhar no local, bem como respeitar as normas em vigor. Utilizar lâmpadas de vapor de sódio em locais em que é necessária uma boa fidelidade de reprodução de cor, não é uma boa medida, mesmo que estas apresentem uma boa eficiência energética. Quando as características das lâmpadas fornecem um índice de restituição cromática de “80”, essa informação indica que a lâmpada fornece 80% das cores produzidas pela fonte de luz ideal. O índice de reprodução de cor (IRC) é independente da temperatura de cor (K). A Figura 6 ilustra um gráfico sobre o IRC diferente entre lâmpadas que se encontram no mesmo nível.

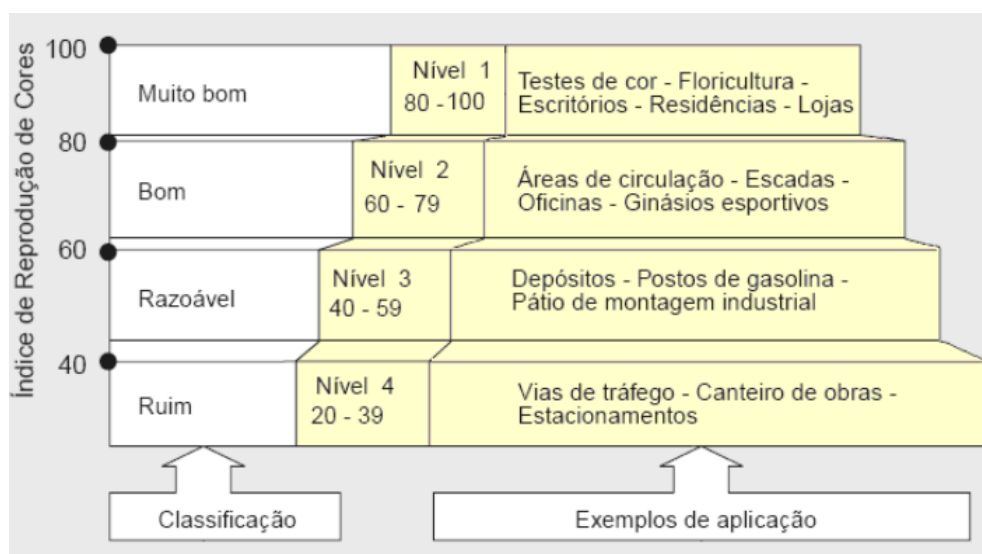


Figura 6 - Índice de reprodução de cor e ambientes [30].

### 3.1.4. ILUMINÂNCIA

A Iluminância (E) é fluxo luminoso que incide sobre uma superfície a uma certa distância da fonte. Sua unidade é expressa em lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) [4].

A Iluminância dá-nos o valor do fluxo luminoso (lúmen) que uma fonte de luz incide numa superfície a uma dada distância dessa fonte ( $m^2$ ).

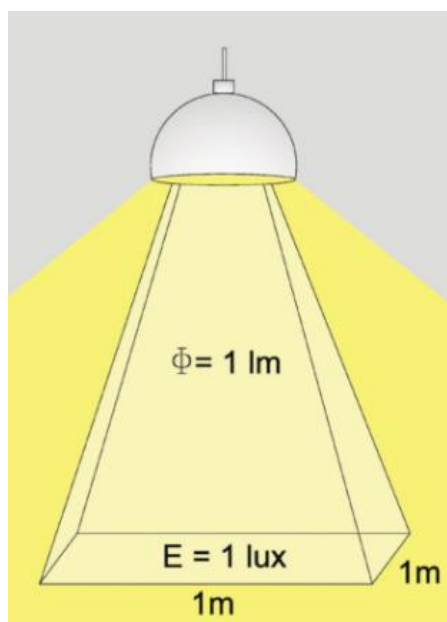
Podemos considerar a iluminância média no plano horizontal (E) e a iluminância média horizontal mantida (Em).

Iluminância média no plano horizontal (E): Iluminância média sobre a área especificada. O número mínimo de pontos a considerar para o seu cálculo, estará em função do índice do local (K) e da obtenção da distribuição quadrática simétrica.

Iluminância média horizontal mantida (Em): Numa determinada área especificada os valores da iluminação média não devem descer. É a Iluminância média durante todo o período anterior ao momento de realizar a manutenção programada [29].

A iluminância não é a mesma em todos os pontos de incidência como também o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente pela área, logo, devido a esta situação, vamos considerar a iluminância média (Em).

A iluminância pode ser medida recorrendo a um aparelho que se chama luxímetro. Na Figura 7 está a representação gráfica do cálculo de Iluminância.



**Figura 7 – Representação gráfica do cálculo de Iluminância [30].**

### 3.1.5. EFICIÊNCIA LUMINOSA

A eficiência luminosa de uma fonte luminosa é a relação entre o fluxo luminoso total emitido em lúmen (lm) pela fonte luminosa e a potência consumida por ela em watt (W).

Para relacionar lâmpadas diferentes temos de ter em conta os diferentes fluxos luminosos que irradiam e a diferente potência que cada lâmpada consome.

Quando se realiza um estudo luminotécnico e se tem fontes luminosas com características idênticas, mas rendimentos luminosos diferentes, optamos pela lâmpada que apresenta uma maior eficiência energética.

Na Figura 8 está ilustrada a evolução da eficiência luminosa de alguns modelos de lâmpadas.

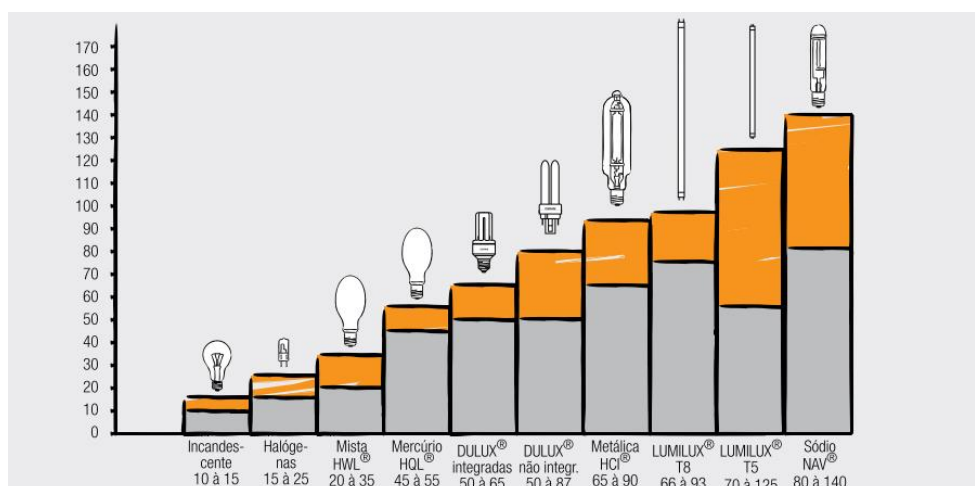


Figura 8 – Evolução da eficiência luminosa das lâmpadas (lm/W) [31].

### 3.1.6. TEMPERATURA DE COR

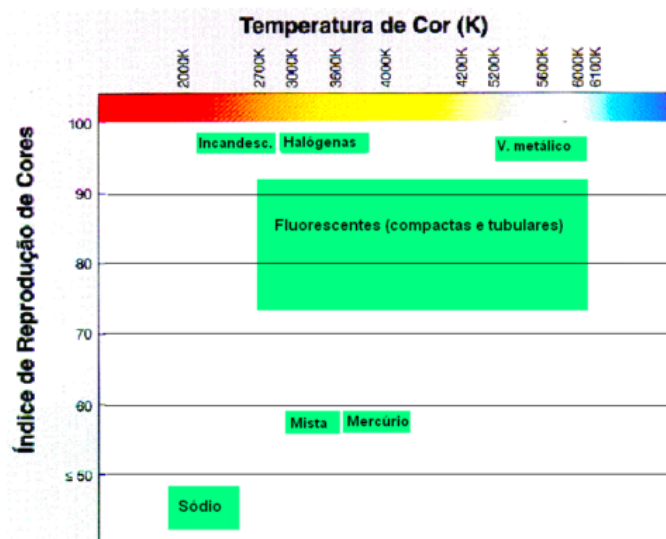
A temperatura de cor indica a aparência de cor da luz emitida pela fonte luminosa, comparada ao fluxo luminoso emitido pelo corpo negro a uma determinada temperatura. A sua unidade de medida é o Kelvin (K).

As lâmpadas elétricas com cor elevada são lâmpadas de luz fria (cor da luz mais branca) e lâmpadas elétricas com baixa temperatura de cor são lâmpadas de luz quente (cor da luz mais amarelada). A **Erro! Autorreferência de marcador inválida.** faz referência à aparência da cor em função da temperatura da cor.

**Tabela 3 - Gammas distintas de temperatura de cor [5].**

Aparência da cor	Temperatura da cor (K)
Luz amarela ou quente	Superior a 2700K e inferior a 3300K
Luz neutra	Superior a 3300K e inferior a 5300K
Luz branca ou fria	Superior a 5300K

A Figura 9 representa o IRC de diferentes fontes de luz conhecidas.



**Figura 9 – Representação do índice de reprodução de cor [30].**

Nas áreas de trabalho recomendam-se lâmpadas com temperatura de cor mais elevada, porque induz a uma maior atividade e desempenho profissional. Para áreas de relaxamento recomendam-se lâmpadas com menor temperatura de cor. A Figura 10 ilustra as diferentes temperaturas de cor.



**Figura 10 – Diferentes temperatura da cor [30].**

### **3.1.7. LUMINÂNCIA**

A luminância (L) representa a densidade da intensidade da luz refletida numa determinada direção. É a quantidade de luz que atravessa uma superfície num determinado ângulo. A sua unidade é expressa em candela (cd) por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### **3.1.8. RENDIMENTO LUMINOSO**

O rendimento luminoso é definido como o quociente do fluxo luminoso da lâmpada em lúmen (lm) pela potência elétrica em Watt (W).

## **3.2. LÂMPADAS E CARATERÍSTICAS**

As lâmpadas elétricas são equipamentos que transformam energia elétrica em energia luminosa ou luz.

As lâmpadas elétricas podem ser analisadas segundo dois âmbitos:

- Quantidade de luz;

As lâmpadas são analisadas com base no rendimento da transformação de energia, isto dá-nos a sua eficiência energética.

- Qualidade de luz.

As lâmpadas são avaliadas na comparação do espectro da lâmpada com o espectro solar médio da luz natural.

### **3.2.1. LÂMPADAS INCANDESCENTES**

O sistema de funcionamento das lâmpadas incandescentes resume-se à passagem de uma corrente elétrica por um fio condutor de tungsténio, que por sua vez vai aquecer o filamento até à incandescência produzindo assim luz e calor. De toda a energia consumida apenas 20% é transformada em luz, os restantes 80% de energia dissipam-se em forma de calor ou em radiações que o olho humano não consegue visualizar. Nesta situação a lâmpada incandescente, como a representada na Figura 11, revela-se pouco eficiente em termos de rendimento e é uma fonte luminosa com baixa temperatura de cor [32] [33].





**Figura 11 - Lâmpada incandescente [34].**

As características destas lâmpadas são referenciadas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Valores da Lâmpada Standard Incandescente [34].**

Caraterísticas	Valores
Potência	50 W
Vida mediana	1 000 h
Temperatura de cor	2 700 K
Tensões disponíveis	127 V ou 220 V
Fluxo Luminoso	628 lm

### **3.2.2. LÂMPADAS HALOGÉNEAS**

O princípio de funcionamento das lâmpadas de halogéneo é idêntico às lâmpadas incandescentes, o filamento que se encontra dentro da lâmpada vai emitir luz quando existir passagem de corrente elétrica.

A diferença substancial entre as duas lâmpadas é que nas incandescentes convencionais a sua ampola tem de ter dimensões superiores devido aos átomos de tungsténio se depositarem na superfície interna para evitar o escurecimento da lâmpada, por sua vez, nas de halogéneo são inseridos gases inertes e halogéneo no seu interior, para fazer com que o átomo de tungsténio volte novamente para o filamento.

As características destas lâmpadas são referenciadas na Tabela 5.

**Tabela 5 - Lâmpadas halogêneas [34].**

Caraterísticas	Valores
Potência	20 W
Vida mediana	2 000 h
Temperatura de cor	3 000 K
Tensões disponíveis	12 V
Intensidade luminosa	400 cd

Estas lâmpadas em comparação com as incandescentes têm um rendimento superior, mas um dos inconvenientes é a emissão de calor para o local que se pretende iluminar. Uma das principais aplicações é a de iluminação decorativa para realçar algum objeto. A Figura 12 ilustra uma lâmpada halogénea.



**Figura 12 - Lâmpada Halogéna [34].**

### **3.2.2.1. LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO**

Estes tipos de lâmpadas são utilizados em iluminação exterior, mas têm sido substituídas por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão em virtude de estas terem um melhor rendimento.

Este tipo de lâmpadas tem no interior do seu tubo de descarga dois elétrodos principais, dois auxiliares e uma mistura de mercúrio (a alta pressão) e árgon (temperatura ambiente). Na fase de aquecimento o mercúrio vaporiza-se suavemente emitindo uma luz de fraca intensidade que vai aumentando gradualmente. Estas lâmpadas são utilizadas em locais onde se pretende um bom rendimento luminoso, mas o IRC não é um dado importante para o local.

Aconselha-se a sua utilização na área industrial e na iluminação pública.

### **3.2.2.2. LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO**

Estes tipos de lâmpadas têm no seu interior uma pequena quantidade de sódio misturado com mercúrio e em menor quantidade contêm xénon para facilitar o arranque.

Na fase de aquecimento da lâmpada, o sódio e o mercúrio vaporizam-se suavemente, emitindo uma luz ténue que vai aumentando de intensidade à medida que a pressão aumenta, até estabilizar.

Aconselha-se a sua utilização na área industrial, aeroportos e ferrovias. A emissão da sua luz é de cor branca e dourada e a sua utilização efetua-se em locais onde a reprodução da cor não é significativa.

### **3.2.2.3. LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO COM IODETOS METÁLICOS**

Estes tipos de lâmpadas ao nível da sua constituição são idênticas às lâmpadas de vapor de mercúrio, salvo a mistura de substâncias contida no tubo de descarga. É adicionado ao mercúrio substâncias com emissores iónicos ou moleculares.

São luzes brancas e brilhantes que apresentam uma grande EE, baixa carga térmica, muito boa longevidade, bem como um bom IRC. Devido ao seu desempenho, estas lâmpadas são utilizadas para realizar a iluminação em piscinas, indústrias, estádios de futebol, salas de exposições e salas de teatro.

## **3.2.3. LÂMPADAS DE DESCARGA DE BAIXA PRESSÃO:**

### **3.2.3.1. LÂMPADAS TUBULARES FLUORESCENTES**

As lâmpadas fluorescentes consistem num tubo cilíndrico em que internamente contêm fósforo, elétrodos de tungstênio, vapor de mercúrio a baixa pressão e emissor térmico selado em cada extremidade do tubo.

O seu interior contém uma substância fluorescente que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em luz visível. A lâmpada fluorescente mais utilizada é a lâmpada de luz branca e fria com tons azulados. Este tipo de lâmpada necessita de arrancador.

A função do arrancador é de regular a entrada da tensão e da corrente de forma a dar o impulso de descarga e de manter o nível especificado. Estas lâmpadas têm um IRC muito elevado. Devido à sua grande eficiência e ao seu período de vida elevado, estas lâmpadas são utilizadas em grandes áreas.

No mercado existem dois tipos de lâmpadas, as T5 e as T8. Comparando uma com a outra a T5 tem uma maior eficiência. Se a montagem de uma T5 for realizada com balastro eletrónico e a T8 com balastro ferromagnético, as T5 apresentam uma poupança de energia na ordem dos 40%. A Figura 13 ilustra uma lâmpada fluorescente.



**Figura 13 - Lâmpada Fluorescente [34].**

### **3.2.3.2. LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS**

São lâmpadas eletrónicas que foram desenvolvidas para substituírem as lâmpadas incandescentes, têm maior eficiência e economia de energia, com o mesmo nível e qualidade de iluminação.

- Economizam até 80% de energia;
- Durabilidade de até 8 000 horas (até 8 vezes mais que as lâmpadas incandescentes);
- Ótima qualidade de luz;
- Formatos compactos;
- Disponíveis nas cores Suave (2 700 K) e Clara (6 500 K).

### **3.2.3.3. LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO**

Neste tipo de lâmpadas é inserido néon ou árgon num tubo de vidro e uma pequena quantidade de sódio. Durante a fase de aquecimento dá-se a ionização do gás, este vaporiza-se e fica e emitir luz visível ao olho humano. Utiliza um transformador para realizar o arranque da lâmpada, porque a ionização do gás tem de ser efetuada por um valor de tensão superior à da rede. O IRC tem um valor muito baixo, não permite distinguir as cores dos objetos iluminados, a sua luz é praticamente monocromática. A sua emissão é exclusivamente na faixa amarela do espectro.

Tem uma eficiência luminosa e uma vida útil elevada e aplica-se na iluminação de estradas e túneis onde se pretende uma boa eficiência luminosa, desprezando-se a distinção das cores dos objetos.

### **3.2.4. LÂMPADA LED**

Os LED são díodos emissores de luz e têm a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

Trata-se de um dispositivo eletrónico semicondutor, que quando polarizado diretamente, dentro do semicondutor ocorre a recombinação de lacunas e eletrões, o que faz com que a energia armazenada pelos eletrões seja libertada na forma de calor ou luz [35].

Os tipos de lâmpadas LED são recentes e não emitem grande quantidade de infravermelhos.

As principais vantagens dos LED são:

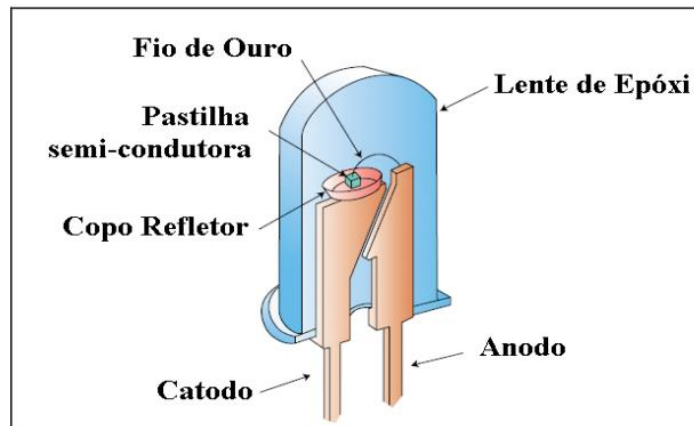
- Segurança – Funcionam com tensões baixas, o que diminui os riscos de acidentes e obtém-se mais segurança no seu manuseamento;
- Vida útil – Muito superior à lâmpada convencional, funciona cerca de 50 mil horas, o que reduz o custo com a manutenção;
- Consumo – Pode atingir um fluxo luminoso relevante devido a ter um consumo de energia baixo, permitindo um excelente grau de eficiência energética;

- Arranque – Após comutação de ligar, o LED emite 100% de luz e é instantâneo o ligar sem prejuízo da vida útil do LED;
- Funcionamento – O LED é muito fiável a todas as temperaturas;
- Emissões de UV – Ao não emitir radiações ultravioleta os insetos não são atraídos pela luz, fazendo com que não haja degradação da luminária;
- Resistência – São resistentes a impactos e vibrações. A tecnologia utilizada está no estado sólido e não tem filamentos, o que aumenta a sua rigidez;
- Poluição – Não existe muita poluição luminosa na utilização de LED, em virtude da sua iluminação ser dirigida para o ponto a iluminar e como não contem mercúrio não provoca impactos nocivos à natureza.

As desvantagens são:

- Custos – Como ainda se está a estudar esta tecnologia a implementar em diversos campos os custos para implementação ainda são elevados. Como no fabrico dos LED se utiliza metais raros, pode existir um monopólio pelos países que detêm esses materiais para os inflacionar, provocando um aumento de preço;
- Sobreensão – Com os picos de tensão fornecidos pela rede derivados de diferentes distúrbios do sistema elétrico, torna-se necessário investir em dispositivos de segurança de forma a evitar danos na luminária;
- Fontes de alimentação – Torna-se necessário uma fonte de alimentação para converter a tensão alternada para tensão contínua para um adequado funcionamento do LED;
- Dissipação de calor – Devido ao calor que os LED de alta potência geram, são necessários dissipadores de calor. A quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura. Os semicondutores são sensíveis ao calor o que podem ficar danificados.

A constituição do LED está ilustrada na Figura 14.



**Figura 14 - Constituição do LED [35].**

### **3.2.5. CLASSIFICAÇÃO DO LED**

A classificação do LED pode ser:

- Indicativos – A sua utilização é frequente em equipamentos eletrónicos para indicar algumas funções.

Como exemplo temos o LED da televisão. Quando apresentar o vermelho a televisão está desligada e quando apresentar o verde está ligada;

- De alto brilho – A sua utilização é frequente em lanternas, semáforos e automóveis;
- De potência – A sua utilização é empregue na iluminação da via pública, iluminação de emergência, na indústria, pavilhões desportivos, hangar e pistas de aviação, em locais que necessite de alto brilho e de um bom fluxo luminoso.

A classificação quanto à utilização do LED surge com a constante evolução tecnológica. Quando se descobriu o LED e devido ao seu baixo consumo a sua utilização era basicamente a de sinalizar os equipamentos.

Com a evolução tecnológica a sua utilização tornou-se mais abrangente.

Continua a ser utilizado para sinalizar e para iluminar os painéis de autorrádios e mais recente a iluminação nos aeródromos.

### **3.2.6. UTILIZAÇÃO DO LED PARA COMBATER AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

Com o aumento populacional e o crescimento económico as emissões de GEE tiveram um grande aumento. Essas emissões de GEE fazem com que aumentem as concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera.

O sistema climático é influenciado pelo ser humano. Estatísticas demonstram que a principal causa do aquecimento global é o ser humano em cerca de 95% dos casos e as emissões de GEE atuais são as mais altas da história. A temperatura do ar aumenta com a elevada concentração destes gases o que traduz em aumentos de consumo de energia. A energia é utilizada tanto no tempo frio (equipamentos para aquecimento) como no tempo quente (equipamentos para arrefecimento) [36].

Segundo o Despacho 17313 [37], um kWh de energia consumida corresponde ao equivalente a 0,47 kg de  $CO_2$  emitido para a atmosfera. A iluminação convencional tem um consumo energético superior à iluminação LED, assim emitem mais GEE para atmosfera. A substituição da iluminação convencional por iluminação LED traduz uma poupança no que diz respeito às emissões dos gases.

A assembleia da ICAO de 2016 impôs que a comissão tem que realizar um relatório ao Parlamento Europeu e ao Conselho sobre as medidas a executar, a partir de 2020, o que vai permitir reduzir as emissões de GEE provenientes do setor da aviação [38].

Um dos grandes benefícios para a utilização de LED na iluminação em geral é a diminuição do consumo de energia. Cerca de 50% da energia consumida com a iluminação pode ser poupada com a utilização de iluminação de estado sólido em todo o mundo, o que representa um decréscimo de 10% no consumo total de energia [39].

As luminárias LED consomem 50 a 75% menos que as luminárias incandescentes [24].

Quando se começou a implementar iluminação LED nos aeroportos a garantia era só de cinco anos, mas com a evolução da tecnologia LED a garantia passou para sete anos [19].

Além de reduzir os custos, outra consequência direta do menor consumo de energia é a redução das emissões de carbono. Isso faz com que a fonte de iluminação LED seja ecológica e amiga do ambiente.



### 3.2.7. BALASTROS

No setor empresarial utiliza-se bastante as lâmpadas fluorescentes tubulares, que por sua vez necessitam de balastros para efetuar o seu arranque. As luminárias que têm lâmpadas fluorescentes necessitam de um arrancador e um balastro.

Existem dois tipos de balastro.

➤ Balastros ferromagnéticos,

Este tipo de balastros apresenta perdas significativas e estão a sair do mercado, embora se encontre muito em luminárias mais antigas. Essas perdas dependem do material que o constitui. Quando os núcleos ferromagnéticos dos balastros são laminados de aço e de alta qualidade, estes apresentam menos perdas que os balastros convencionais. Os balastros ferromagnéticos dissipam muito calor, afetam o fator de potência de uma instalação e provocam efeitos indesejados como energia reativa.

➤ Balastros eletrônicos,

Este tipo de balastros são constituídos por um retificador e um modulador de alta frequência. Ao comparar os balastros magnéticos com os balastros eletrônicos verificamos algumas vantagens para os balastros eletrônicos, tais como:

- O período de vida das lâmpadas é maior e o custo de manutenção é reduzido, porque o arranque da lâmpada é realizado suavemente;
- Apresenta perdas reduzidas;
- Não necessita de arrancadores;
- Elevado fator de potência;
- As lâmpadas fluorescentes quando associadas aos balastros eletrônicos produzem mais 20% de iluminação;
- São mais leves, eliminam o ruído e reduz o consumo de energia.

Uma das desvantagens é que os balastros eletrônicos são mais caros.

### **3.3. SOFTWARE DIALUX**

O software DIALux é utilizado para realizar cálculos luminotécnicos. Trata-se de uma ferramenta que foi desenvolvida para realizar de uma forma rápida, cálculos estimados de iluminação, para verificação dos índices de iluminação recomendados pelas normas em vigor. Desta forma substitui os cálculos manuais. Atualmente é um dos softwares de simulação mais populares do mundo e é utilizado por diversos profissionais das áreas de engenharia, projeto de iluminação e na arquitetura.

Uma das características do DIALux é a de possuir módulos adicionais pelo qual, os fabricantes de lâmpadas podem disponibilizar os produtos fabricados em arquivos que funcionam com o DIALux, permitindo ao projetista obter um grande leque de luminárias para simular no mesmo ambiente e obter meios para poder comparar a influência que cada uma tem.

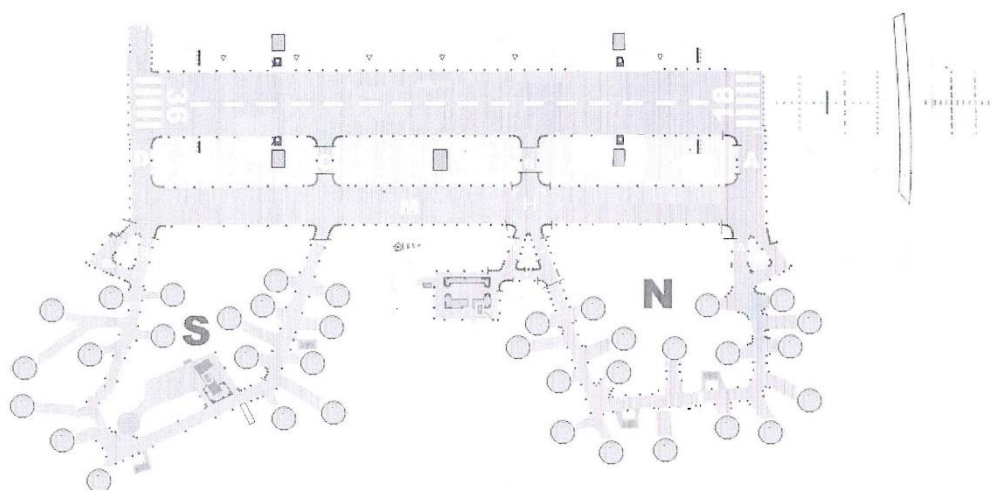
Tem a vantagem de importar arquivos dos dados das luminárias com a extensão “.dxf” e “.dwg”, facilitando o trabalho ao projetista.



## 4. TRABALHO DESENVOLVIDO NA FORÇA AÉREA

### 4.1. CASO DE ESTUDO – AERÓDROMO DE MANOBRA Nº 1 (AM1)

O Aeródromo de Manobra Nº 1 (AM1) da Força Aérea está localizado em Maceda - Ovar, 30 Km a Sul da cidade do Porto. A sua construção iniciou-se por fases, em 1957, tendo ficado concluída em 1966 [40]. A Figura 15 ilustra a planta da área de aeródromo do AM1.



**Figura 15 - Planta da área de aeródromo do Aeródromo de Manobra Nº1 [16].**

No caso de estudo foram considerados dois cenários diferentes para se comparar os consumos e emissões de  $CO_{2eq}$  nos sistemas de iluminação. Realizou-se a análise do sistema de iluminação natural e artificial nos hangares e propôs-se melhorias de forma a não causar fadiga visual e desconforto. Perante a análise, sugerem-se melhorias dos sistemas de iluminação para uma melhor eficiência energética.

### 4.2. METODOLOGIA APLICADA

#### 4.2.1. INTRODUÇÃO

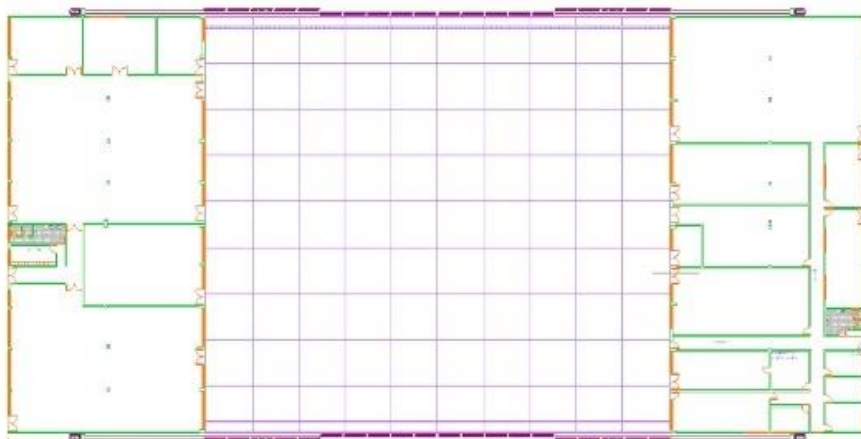
A metodologia aplicada pretende avaliar o consumo de energia de diferentes sistemas de iluminação artificial que se encontram instaladas no hangar norte, no hangar sul, na Secção de Assistência e Socorro (SAS) e da iluminação da pista de aviação do AM1, de forma a otimizar o consumo e promover a eficiência energética.

Esta fase do projeto implicou a realização de trabalho presencial no AM1 e uma revisão da literatura. Os valores de referência usados para o estudo foram obtidos através da norma EN 12464-1 [5].

Os ambientes do estudo foram todos modelados e simulados no software DIALux EVO versão 7.1.

#### **4.2.2. SIMULAÇÃO NO SOFTWARE DIALUX**

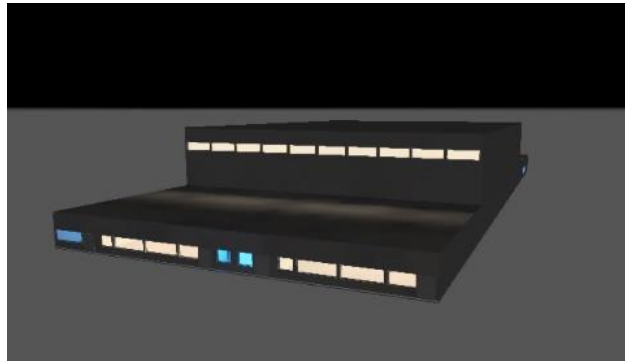
Ao realizar a importação do ficheiro do hangar, no formato “.dwg” em AutoCad, como é apresentado na Figura 16, o software tem ao dispor três possibilidades para realizar a simulação, sendo eles os ambientes internos, externos e ruas. Neste caso será escolhida a opção ambientes internos, para a realização do cálculo luminotécnico. O utilizador deve começar a desenhar a nova edificação tendo a possibilidade de inserir janelas, portas, bem como escolher a textura para o chão e a parede. No projeto foi selecionado o branco puro com grau reflexão de 86% e de espelhamento 0%. A Figura 16 ilustra a planta esquemática das zonas de estudo fornecida em AutoCAD e importada para o DIALux,



**Figura 16 - Imagem do hangar Norte fornecida em AutoCad [17].**

A Figura 17 ilustra em 3D, o hangar Norte simulado no DIALux onde foi realizado um dos estudos luminotécnicos. Após a realização da escolha e a colocação das luminárias nas divisões, inicia-se o cálculo do projeto. Quando o software acaba de realizar o cálculo, podem-se analisar os parâmetros luminotécnicos. Sendo possível conhecer quais são os níveis médios de iluminância em cada divisão, com precisão e realismo.

O software realiza relatórios com várias indicações importantes, tais como a ficha de informação de cada produto inserido no projeto, o esquema de posição das luminárias, bem como outras informações sobre a instalação e sobre os equipamentos existente. Cada utilizador pode escolher um modelo diferente para cada projeto e pode criar os seus próprios modelos de raiz. A Figura 17 ilustra o esboço da parte exterior do hangar Norte desenvolvida no programa DIALux.



**Figura 17 - Imagem do hangar no DIALux [17].**

A simulação do sistema de iluminação dos hangares Norte, Sul e SAS teve em conta a realidade existente, para que a simulação se aproxime o mais possível da realidade.

Numa primeira fase do estudo, os objetivos foram o levantamento dos equipamentos instalados e compreender as necessidades da Força Aérea Portuguesa, bem como identificar todos os ambientes envolvidos.

Foi observado o ambiente envolvente, as características físicas dos locais de trabalho e foi efetuado o levantamento do número e tipo de luminárias e lâmpadas.

Realizado o levantamento dos dados necessários para prosseguir o estudo, verificou-se se as salas estão ou não sobredimensionadas em termos luminotécnicos. Para caraterizar esta situação realizou-se um estudo sobre o estado atual dos hangares no software DIALux, de forma a verificar se grandezas luminotécnicas estão dentro dos valores que a norma EN 12464-1 considera aceitáveis.

A iluminação deve satisfazer os aspetos quantitativos e qualitativos exigidos para o local, com o conforto e segurança durante o período de trabalho.

O cálculo de  $CO_2$  enviado para a atmosfera em ton/ano também foi calculado. Para efeitos da contabilização da intensidade carbônica por emissão de GEE, considera-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é igual a  $0,47 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$ , de acordo com o estabelecido na Portaria n.º 63/2008 de 21 de janeiro, 1.ª série [37].

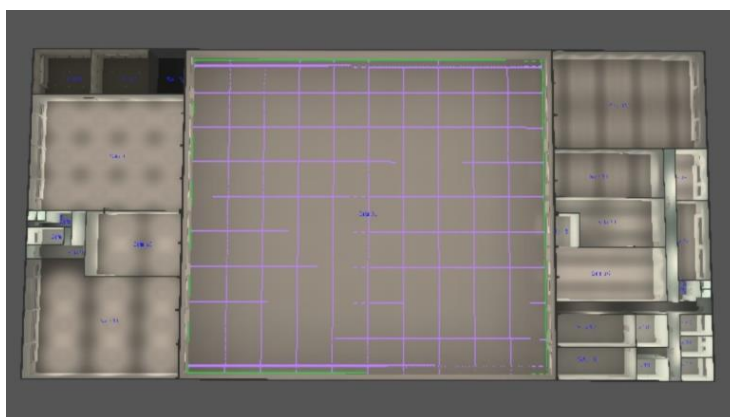
Esse cálculo obtém-se pela multiplicação do consumo de energia elétrica resultante da utilização da iluminação (kWh), pelo fator de emissão associado ao consumo de energia elétrica ( $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ).

Neste estudo, foi considerado uma tarifa de referência de  $0,085 \text{ €/kWh}$  e admitiu-se para todos os cenários de cálculo que a iluminação estará ligada 35 horas por semana (hangar Norte, hangar Sul, SAS e iluminação das pistas).

#### 4.2.3. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL NO HANGAR NORTE

O hangar Norte é constituído por trinta divisões, com diferentes áreas, mas todas têm em comum a tonalidade das paredes e do chão. O material utilizado nas paredes para realizar a simulação no DIALux foi o branco puro com grau de reflexão de 86% e de espalhamento 0%, no chão foi utilizado o *Default Floor* material com grau de reflexão de 20% e de espelhamento 0%.

O sistema de iluminação instalado tem uma distribuição uniforme, em que as luminárias estão fixadas nas vigas do teto e o seu acionamento é manual, através de interruptor, não havendo sistema de controlo de intensidade luminosa. A Figura 18 ilustra todo o ambiente simulado no software DIALux do hangar Norte.



**Figura 18 - Imagem do hangar Norte (DIALux) [17].**

Durante as visitas ao local do estudo, verificou-se que o sistema de iluminação é composto por 144 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 36W, 11 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58W, 24 lâmpadas fluorescentes circulares 80W, 30 lâmpadas fluorescentes circulares 18W, 10 lâmpadas incandescentes de 60W, 93 lâmpadas vapor de sódio alta pressão de 350W e 12 lâmpadas iodetos metálicos no exterior de 1 000 W.

Em relação às marcas das lâmpadas e à identificação dos balastros não foram possíveis a sua identificação, por não ser possível aceder aos equipamentos. No entanto, esse fator é minimizado no cálculo efetuado pelo software DIALux. A Tabela 6 apresenta a descrição detalhada de cada divisão do hangar.

**Tabela 6 - Descrição do sistema atual do hangar Norte [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	Steinel - 731113 RS 14 L	12	12	80	960
2	Steinel - 731113 RS 14 L	12	12	80	960
3	Sala já com iluminação LED	**	**	**	**
4	Eaton's Crouse-Hinds Business	12	12	465	5 580
5	Feilo Sylvania - Superia Polycarbonate diffuser T8	2	2	36	72
6					
7					
8	Philips Lighting - TMS028	4	2	110	220
9	Rexel Finland - LR-144EG	4	4	43	172
10	Eaton's Crouse-Hinds Business	6	6	465	2 790
11	Eaton's Crouse-Hinds Business	12	12	465	5 580
12	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	64	32	72	2 304
13	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	20	10	72	720
14	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	20	10	72	720
15	Philips - TMS028 2xTL-D36W	4	2	72	144
16	Steinel - 731113 RS 14 L	30	30	18	540
17	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	12	12	43	516
18	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	12	12	43	516
19	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	1	1	43	43
20	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	2	2	43	86
21	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	4	4	43	172
22	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	2	2	43	86
23	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	2	2	43	86
24	3F Filippi - A0402 3F Linda Inox HF EP	4	2	109	218
25					
26					
27	Steinel - 731113 RS 14 L	3	3	60	180
28	Não tive acesso	**	**	**	**
29	Steinel - 731113 RS 14 L	11	11	60	660
30	Eaton's Crouse-Hinds Business	63	63	465	29 295
Exterior	Iodetos metálicos 1 000 W	12	12	1 000	12 000
Total		330	272	4 045	64 620



Realizou-se uma estimativa do consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar. Os resultados são apresentados na Tabela 7, que apresenta o consumo de energia e os custos inerentes ao uso da tecnologia tradicional, atualmente instalada no hangar.

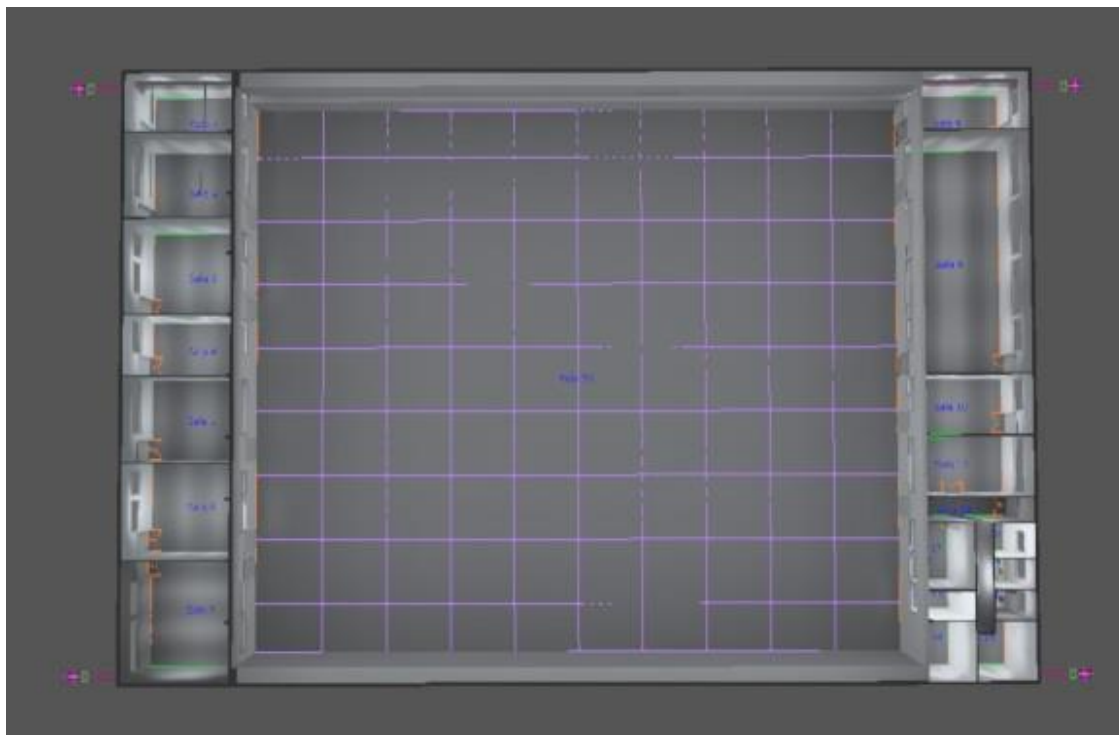
**Tabela 7 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, do hangar Norte [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	Steinel - 731113 RS 14 L	960	1 747	149
2	Steinel - 731113 RS 14 L	960	1 747	149
3	Sala já com iluminação LED	**	**	**
4	Eaton's Crouse-Hinds Business	5 580	10 156	863
5	Feilo Sylvania - Superia Polycarbonate diffuser T8	72	131	11
6				
7				
8	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	220	400	34
9	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	172	313	27
10	Eaton's Crouse-Hinds Business	2 790	5 078	432
11	Eaton's Crouse-Hinds Business	5 580	10 156	863
12	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	2 304	4 193	356
13	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	720	1 310	111
14	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	720	1 310	111
15	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W	144	262	22
16	Steinel - 731113 RS 14 L	540	983	84
17	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	516	939	80
18	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	516	939	80
19	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	43	78	7
20	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	86	157	13
21	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	172	313	27
22	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	86	157	13
23	Rexel Finland - LR-144EG/1x36W	86	157	13
24	3F Filippi - A0402 3F Linda Inox HF EP	218	397	34
25				
26				
27	Steinel - 731113 RS 14 L	180	328	28
28	Não tive acesso	**	**	**
29	Steinel - 731113 RS 14 L	660	1 201	102
30	Eaton's Crouse-Hinds Business	29 295	53 317	4532
Exterior	Iodetos metálicos 1 000 W	12 000	21 840	1856
Total		64 620	117 608	9 997

Como podemos observar na Tabela 7, o consumo total estimado de energia para todo o hangar Norte é de 117 608 kWh/ano e apresenta um custo de 9 997 €/ano.

#### 4.2.4. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL NO HANGAR SUL

O hangar Sul é constituído por vinte divisões, com diferentes áreas, mas todas têm em comum a tonalidade das paredes e do chão. O material utilizado no simulador DIALux para este hangar é igual ao material utilizado para o hangar Norte. A Figura 19 ilustra todo o ambiente simulado no software DIALux do hangar Sul.



**Figura 19 - Imagem do hangar Sul (DIALux) [17].**

Durante as visitas ao local, verificou-se que o sistema de iluminação é composto por 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 18 W, 5 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 36 W, 202 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58 W, 5 lâmpadas incandescentes de 60 W, 63 lâmpadas vapor de sódio alta pressão de 350 W e 6 lâmpadas iodetos metálicos no exterior de 1 000 W.

Como já foi referido no hangar Norte o mesmo se aplica a este hangar, em que não foi possível realizar a identificação das marcas das lâmpadas e dos balastros.

A Tabela 8 apresenta a descrição detalhada de cada divisão do hangar.

**Tabela 8 - Descrição do sistema atual do hangar Sul [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	6	6	110	660
2	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	9	9	110	990
3	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	9	9	110	990
4	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	6	6	110	660
5	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	9	9	110	990
6	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	9	9	110	990
7	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	12	12	110	1 320
8	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	6	6	110	660
9	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	18	18	110	1 980
10	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	6	6	110	660
11	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	9	9	110	990
12	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W/IP3	2	2	43	86
13	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W/IP3	1	1	43	43
14	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W/IP3	2	2	43	86
15	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W/IP3	2	2	43	86
16	3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF	1	1	109	109
17	3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF	1	1	109	109
18	Steinel - 731113 RS 14 L	1	1	60	60
19	Steinel - 731113 RS 14 L	4	4	60	240
20	Eaton's Crouse-Hinds Business - VMVS2A400GRD4	63	63	415	26 145
Exterior	Iodetos metálicos 1 000 W	6	6	1 000	6 000
Total		182	182	3 245	43 854

Realizou-se uma estimativa do consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar.

Os resultados são apresentados na Tabela 9, que apresenta o consumo de energia e o custo inerente ao uso da tecnologia atualmente instalada.

**Tabela 9 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, do hangar Sul [17].**

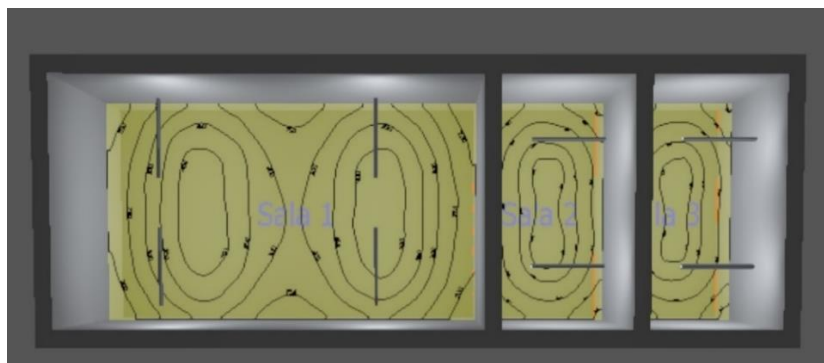
Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	660	1 201	102
2	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	990	1 802	153
3	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	990	1 802	153
4	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	660	1 201	102
5	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	990	1 802	153
6	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	990	1 802	153
7	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	1 320	2 402	204
8	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	660	1 201	102
9	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	1 980	3 604	306
10	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	660	1 201	102
11	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W	990	1 802	153
12	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W	86	157	13
13	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W	43	78	7
14	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W	86	157	13
15	Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W	86	157	13
16	3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF	109	198	17
17	3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF	109	198	17
18	Steinel - 731113 RS 14 L	60	109	9
19	Steinel - 731113 RS 14 L	240	437	37
20	Eaton´s Crouse-Hinds Business -VMVS2A400GRD4	26 145	47 584	4 045
Exterior	Iodetos metálicos 1 000 W	6 000	10 920	928
Total		43 854	79 814	6 784

Como podemos observar na Tabela 9, o consumo total estimado de energia para todo o hangar Sul é de 79 814 kWh/ano e apresenta um custo de 6 784 €/ano.

#### **4.2.5. ILUMINAÇÃO ATUAL DA SAS**

A Secção de Assistência e Socorro é constituída por várias divisões. O estudo luminotécnico só se vai efetuar nas 3 divisões destinadas ao estacionamento das viaturas. Todas as divisões têm a mesma tonalidade.

O material utilizado no simulador DIALux para este edifício é igual ao material utilizado para o Hangar Norte e para o Hangar Sul. A Figura 20 ilustra todo o ambiente simulado no software DIALux da SAS.



**Figura 20 - Imagem da SAS (DIALux) [17].**

Durante as visitas ao local do estudo, verificou-se que o sistema de iluminação é composto por 8 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 36 W e de 6 lâmpadas vapor de sódio alta pressão de 350 W. Em relação às marcas das lâmpadas e a identificação dos balastros não foi possível a sua identificação, por não ser possível aceder aos equipamentos. A Tabela 10 apresenta a descrição detalhada de cada divisão do edifício.

**Tabela 10 - Descrição do sistema atual da SAS [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência lâmpada (W)	Potência total (W)
1	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W HFP	8	4	110	440
2	Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	1	1	465	465
3	Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	1	1	465	465
Total		10	6	1 040	1 370

Realizou-se uma estimativa do consumo de energia e do custo de energia para o referido edifício. Os resultados são apresentados na Tabela 11, que apresenta o consumo de energia e os custos inerentes ao uso da tecnologia tradicional, atualmente instalada na SAS.

**Tabela 11 - Consumo e custo anual estimado do sistema atual, SAS [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W HFP	440	801	68
2	Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	465	846	72
3	Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	465	846	72
Total		1 370	2 493	212

Como podemos observar na Tabela 11, o consumo total estimado de energia, para o edifício é de 2 493 kWh/ano e apresenta um custo de 212 €/ano.

#### **4.2.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL DA PISTA**

Sem modificar a tipologia dos circuitos de potência é proposta a substituição da iluminação convencional da pista pela tecnologia LED, no AM1 da Força Aérea.

A substituição direta das luminárias atualmente instaladas, equipadas com lâmpadas incandescentes, por luminárias equipadas com tecnologia LED, faz com que a potência instalada reduza consideravelmente, podendo isso levar a uma redução dos consumos de energia elétrica. Uma forma de reduzir o custo com o sistema de iluminação da pista, é reduzir as correntes fornecidas pelos reguladores de correntes constantes que se encontram instalados na base.

Esta solução a longo prazo não é viável, porque ao diminuir a corrente vai implicar um aumento de tensão no circuito. Este aumento de tensão além de provocar um desgaste no isolamento do cabo pode também comprometer a segurança dos circuitos secundários.

Para que esta situação não aconteça temos que usar transformadores de isolamento com a relação de transformação diferente de 1:1, obtendo-se assim no secundário correntes inferiores [26].

O circuito de iluminação que se encontra instalado no AM1 é um circuito série, que engloba um regulador constante de corrente, luminárias, um cabo de média tensão e transformadores. As luminárias estão ligadas ao secundário de baixa tensão do transformador isolador. Os transformadores devem obedecer às normas estabelecidas pela FAA por meio de circulares AC 150/5345-47 C.

O circuito série engloba várias vantagens, tais como:

- A corrente que alimenta o circuito serie é a mesma, então a intensidade também é a mesma para todas as luminárias;
- O controlo de intensidade das luzes pode-se efetuar sobre uma larga escala;
- No circuito serie as correntes são elevadas e as tensões são baixas.

As principais desvantagens dos circuitos série são:

- Os custos de instalação são elevados devido ao regulador de corrente constante e aos transformadores;
- No circuito primário se existir uma falha em que fique em malha aberta, o sistema vai ficar inoperativo e como consequência pode danificar o regulador de corrente e o isolamento do cabo;
- A identificação de falhas por circuito aberto é de difícil localização.

O circuito série é constituído pelo regulador de corrente constante e por transformadores. Os transformadores realizam a continuidade do circuito de modo que a falha de uma lâmpada não produza uma falha de circuito aberto, deixando o circuito inoperativo [41].

As luminárias de LED podem ser instaladas no circuito sem levar a alterações do mesmo. As luminárias de LED que se pretendem instalar têm um transformador, uma ponte retificadora e um conversor, podendo assim ser instaladas nos circuitos de alimentação existentes. O sistema de iluminação da pista instalado no Aeródromo de Manobra Nº 1 da Força Aérea engloba dois circuitos série distintos. Os circuitos estão alimentados através de Posto de Regulação e Controlo (PRC). Para os sistemas de iluminação de pistas e *taxiway*, as luminárias estão alternadamente ligadas a dois circuitos instalados. No caso de falha de um circuito não deixa o piloto sem orientação durante a fase de aterragem. A Tabela 12 apresenta os valores dos consumos de energia nos diferentes circuitos da pista. Os valores são referentes ao consumo do circuito total.

**Tabela 12 – Descrição e quantidades de luminárias na pista [17].**

PISTA	Caraterística lâmpada	Quantidade Luminárias	Potência nominal por Lâmpada (W)	Potência nominal por transformador (W)	Potência Total (W)
<i>Runway</i>	EZL 200W 6,6A GY9,5	74	200	200	29 600
<i>Papis</i>	HLX 200W 6,6A PK 30d	32	200	200	12 800
<i>Taxiway</i>	6,6A 30W (Philips 7669C P28S)	607	30	45	45 525
<i>Threshold</i>	200W 6,6A PAR 56/3	20	200	200	8 000
<i>Approach</i>	200W 6,6A PAR 56/2	107	200	200	42 800
<i>Beacon</i>	1 000 W 220V PAR64 NSP	4	1 000	1 000	8 000
TOTAL		844			146 725

A iluminação existente atualmente no aeródromo é tipicamente incandescente, tecnologia ineficiente do ponto de vista dos consumos de energia e dos custos associados.

A presente investigação tem como objetivo o estudo de soluções que visem a redução da energia consumida e a redução do impacto ambiental causado pelos GEE. Todos os estudos realizados serão feitos em conformidade com as normas estabelecidas pela FAA.

Pela análise da Tabela 12, pode verificar-se que a iluminação da pista tem uma potência instalada bastante elevada, situando-se nos 146 725 kW, sendo a iluminação aos *taxiway* e *approach* os sistemas com maior potência instalada.

### **4.3. REQUISITOS TÉCNICOS**

A iluminação do hangar vai ser calculada tendo como requisitos as recomendações dadas pela norma EN 12464-1 [5]. Nas simulações efetuadas no DIALux foi possível calcular a iluminância média e comparar com os níveis de iluminância exigidos pela referida norma.

Nos aeroportos, o valor de referência para a iluminância média dos hangares é de 500 lux, áreas de circulação e corredores devem ter uma iluminância média de 100 lux, vestiários, banheiros, quartos de banho devem ter uma iluminância média de 200 lux e os museus em geral têm de ter uma iluminância média de 300 lux.

### **4.4. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS**

Neste subcapítulo serão apresentados os estudos realizados no AM1. Os estudos realizados referem-se à comparação da iluminação atualmente instalada, com a tecnologia de iluminação LED, de acordo com a área de aplicação.

Em ambos os hangares foram feitos dois estudos com a tecnologia LED, de forma a poder comparar-se diferentes fornecedores e preço. Para selecionar uma lâmpada LED para substituir as lâmpadas convencionais dos hangares foi necessário analisar os dados fotométricos, bem como o consumo de energia elétrica. Os equipamentos a instalar foram pesquisados de forma a servirem o melhor possível as expectativas e exigências que o estudo exige e a não comprometerem o funcionamento normal dos locais em estudo. Foram realizadas pesquisas em diversos fabricantes, comparando vários tipos de luminárias LED bem como o custo inerente.



Essa análise é necessária para se selecionar as luminárias a implementar no DIALux. Para realizar os cálculos da análise económica e o investimento das diversas soluções do estudo só serão considerados os valores das luminárias. O valor referente à mão-de-obra não se vai contabilizar, porque esta implementação vai ser realizada por pessoal do AM1.

#### 4.4.1. ANÁLISE DO HANGAR NORTE

O hangar Norte possui uma área de  $4\,272,82\,m^2$ , aproximadamente. Da simulação no DIALux resultaram as seguintes iluminâncias médias, para cada divisão, apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13 - Iluminância média, de cada divisão do hangar Norte (atual) [17].**

Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	55,8	36,4	66,6	Sala 16	78,3	48,7	186
Sala 2	56,4	40,3	65,7	Sala 17	514	328	620
Sala 3	12,9	8,44	83,4	Sala 18	498	293	609
Sala 4	974	341	1226	Sala 19	132	94,8	164
Sala 5	135	116	144	Sala 20	204	141	271
Sala 6	517	455	559	Sala 21	454	328	527
Sala 7	295	40,1	397	Sala 22	265	207	300
Sala 8	608	424	709	Sala 23	257	187	301
Sala 9	241	29,3	380	Sala 24	349	309	372
Sala 10	1399	624	1955	Sala 25	379	325	404
Sala 11	1094	192	1573	Sala 26	856	613	982
Sala 12	406	222	469	Sala 27	14,1	9,48	17,4
Sala 13	353	236	406	Sala 28	0	0	0
Sala 14	405	92,2	500	Sala 29	20	9,05	27,8
Sala 15	390	305	446	Sala 30	675	345	828

Com base nos valores obtidos na simulação de iluminação e tendo em consideração os equipamentos instalados, verificou-se que as salas, 1 e 2 que estão equipadas com lâmpadas incandescentes de 80 W, não cumprem os requisitos impostos pela norma, quanto à iluminância média para o tipo de local. Nestas salas está instalado um Pólo do Museu do Ar, sendo que a norma exige uma iluminância média para este tipo de local de 300 lux e pelos resultados da simulação apresentados na Tabela 13 verifica-se que a iluminância média não chega a 60 lux.

Outra zona que não está em conformidade com a norma é a área de circulação e corredores, em que a simulação indica que iluminância média é de 20 lux e a norma faz referência a uma iluminância média de 100 lux.

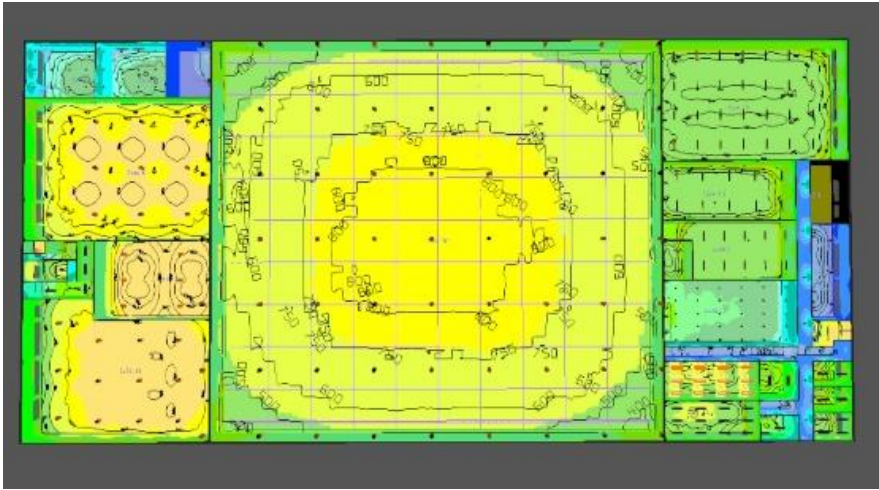


Figura 21 - Linhas *isolux* e valores dos níveis de iluminância do hangar Norte [17].

Na Figura 21 estão representadas as linhas *isolux* e os valores dos níveis de iluminância do hangar Norte, ou seja, os valores médios fornecidos pelo software para o sistema de iluminação existente no local. Na Figura 22 está representado o gráfico dos níveis de iluminância média, máxima e mínima de todo o hangar Norte, onde podemos verificar que existem algumas salas que estão sobredimensionadas e outras subdimensionadas.

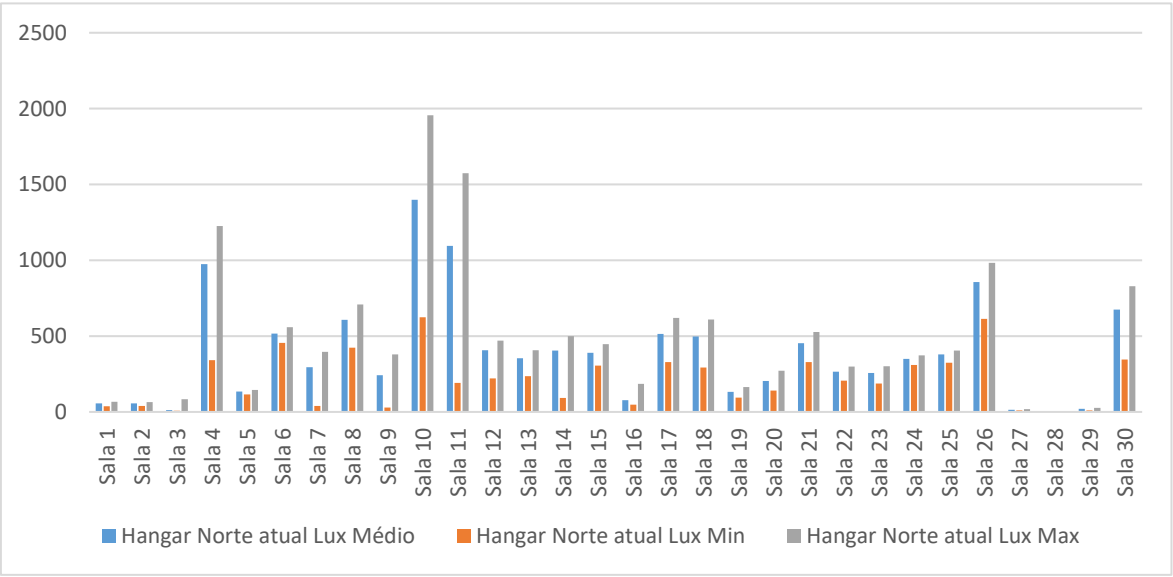


Figura 22 - Valores de iluminância no hangar Norte (atual) [17].

#### 4.4.1.1. CENÁRIO 1 - HANGAR NORTE COM ILUMINAÇÃO LED PHILIPS

Como já referido, este estudo visa a substituição da iluminação tradicional por iluminação LED. Neste cenário vai ser simulado um cenário de substituição da iluminação existente por iluminação com tecnologia LED, na sua maioria da marca Philips.

O LED é uma tecnologia já bastante evoluída e madura, mas em constante crescimento, que comparada com a iluminação tradicional tem ganhos consideráveis em termos de eficiência energética (EE).

Neste momento os mercados de iluminação dispõem já de luminárias LED com várias potências e com rendimentos variados, que permitem substituir as tradicionais tecnologias de iluminação.

O sistema de iluminação simulado no DIALux, no cenário 1, é composto por 30 luminárias LEDVANCE DL Slim Value DN205 22 W/4000K WT, 33 luminarias Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865, 4 luminarias Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839, 85 luminarias Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB, 25 luminarias Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20, 12 focus projector LED SMD 300 W 135 lm/W HE PRO. A Tabela 14 apresenta a lista das luminárias e as características das mesmas.

**Tabela 14 - Descrição do hangar Norte com sistema LED Philips [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	12	22	264
2	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	12	22	264
3	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	6	22	132
4	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	12	155	1 860
5	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	57	114
6				
7				
8	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
9	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
10	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	4	155	620
11	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	9	155	1 395
12	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	8	108	864
13	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	3	108	324
14	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	3	108	324
15	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	1	108	108
16	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	6	108	648

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
17	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	3	54	162
18	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	3	54	162
19	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
20	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	3	54	162
21	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
22	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
23	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
24	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	57	114
25				
26				
27	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
28	*****	**	**	**
29	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
30	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	72	155	11 160
Exterior	Foco Projetor LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	12	300	3 600
Total		189	2 342	23 357

Foi realizada uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar.

Os resultados são apresentados na Tabela 15 que apresenta o consumo de energia desta simulação, bem como o custo associado ao uso da tecnologia de iluminação escolhida para este cenário.

**Tabela 15 – Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	264	480	41
2	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	264	480	41
3	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	132	240	20
4	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	1 860	3 385	288
5	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	114	207	18
6				
7				
8	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
9	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
10	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	620	1 128	96
11	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	1 395	2 539	216
12	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	864	1 572	134
13	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	324	590	50
14	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	324	590	50
15	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	108	197	17
16	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	648	1 179	100

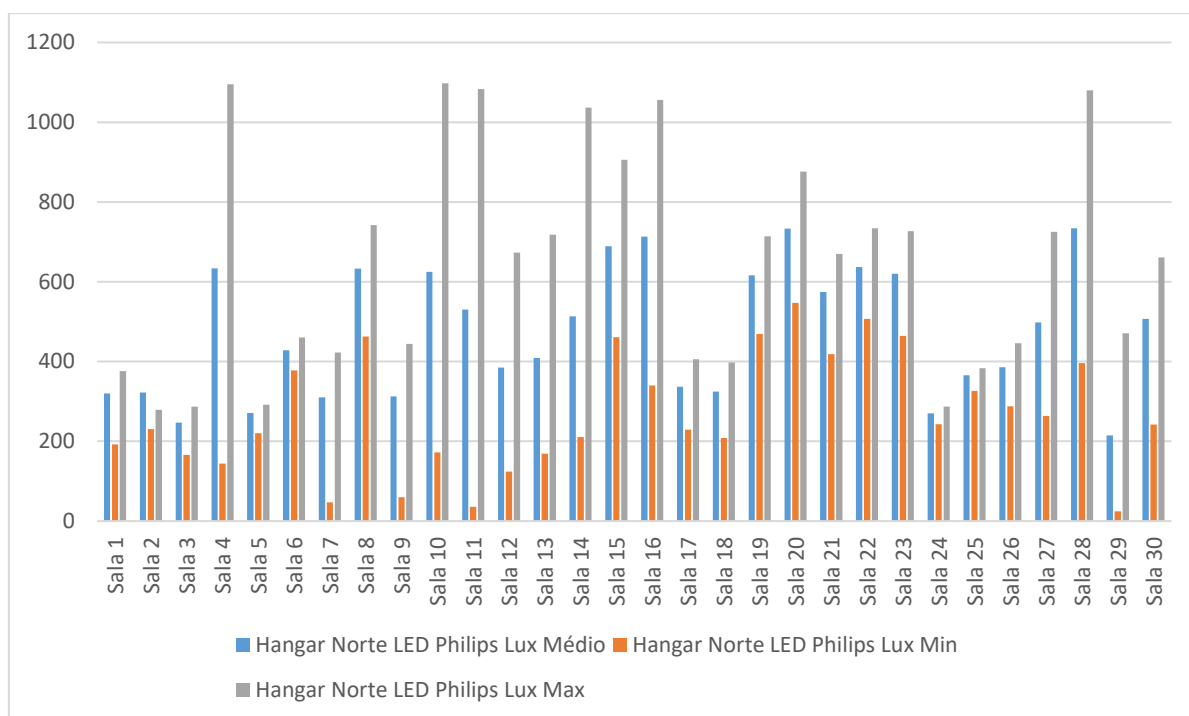
Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
17	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	162	295	25
18	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	162	295	25
19	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
20	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	162	295	25
21	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
22	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
23	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
24	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	114	207	18
25				
26				
27	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
28	****	**	**	**
29	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
30	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	11 160	20 311	1 726
Exterior	Foco Projetor LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	3 600	6 552	557
Total		23 357	42 510	3 613

Foi feita a simulação da iluminação do cenário, com vista a perceber se os níveis de iluminância produzidos estão de acordo com o recomendado pela norma EN12464-1 [5]. Foi usado o software DIALux para efetuar a simulação da iluminação para todo o hangar Norte. Os resultados são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Norte (LED Philips) [17].**

Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	320	192	376	Sala 16	713	340	1056
Sala 2	322	231	279	Sala 17	337	229	406
Sala 3	247	166	287	Sala 18	325	208	398
Sala 4	634	144	1095	Sala 19	616	469	714
Sala 5	271	220	292	Sala 20	733	547	876
Sala 6	428	378	460	Sala 21	574	419	670
Sala 7	310	47,3	423	Sala 22	637	507	734
Sala 8	633	463	742	Sala 23	620	464	727
Sala 9	313	60,2	444	Sala 24	270	243	287
Sala 10	625	172	1098	Sala 25	366	326	383
Sala 11	530	35,5	1083	Sala 26	386	288	446
Sala 12	385	124	673	Sala 27	498	264	725
Sala 13	409	169	718	Sala 28	734	396	1080
Sala 14	513	211	1037	Sala 29	215	24,2	471
Sala 15	689	461	906	Sala 30	507	242	661

O gráfico representado na Figura 23 indica os níveis de iluminância do hangar Norte para a situação LED Philips apresentados na Tabela 16.



**Figura 23 - Valores de iluminância do hangar Norte (LED Philips) [17].**

Verifica-se pela análise da Tabela 16 que os resultados obtidos obedecem aos níveis de iluminância requeridos pela norma EN 12464-1 [5]. Nesta solução podemos verificar que foram necessárias menos 83 luminárias com o sistema LED Philips. Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED Philips é muito maior em relação ao sistema instalado no hangar Norte (sistema convencional).

A vida útil, que o fabricante indica para o sistema LED Philips LL121X (L80B50) é de 50.000 horas, o que equivale aproximadamente a 27,5 anos, duração muito superior às tecnologias de iluminação convencionais.

Considerando que o material aplicado tem uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espetável superior a 50.000 horas, podemos admitir que o sistema tem algumas vantagens em ser instalado, os dados são visíveis na Tabela 17.

Todos os cálculos foram efetuados considerando um cenário de utilização da instalação de iluminação do hangar Norte de 35 horas por semana, mas se existir a necessidade de aumentar o tempo de iluminação do hangar o valor do retorno do investimento vai ser menor.

**Tabela 17 - Indicadores do hangar Norte (convencional vs LED Philips) [17].**

Indicador	Atual	LED Philips	Diferença
Consumo anual	117 608 kWh	42 510 kWh	75 099 kWh
Custo anual / mensal	9 997 €	3 613 €	6 383 €/ Ano = 532 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			63,9%
Custo do investimento		57 539 €	
CO2 enviado para a atmosfera anual	55,3 Ton CO2 eq	20,0 Ton CO2 eq	35,3 Ton CO2 eq
Retorno do investimento		108 Meses = 9,0Anos	

Ao analisar a dimensão do hangar Norte e face à economia de energia gerada com a iluminação LED Philips podemos concluir que esta solução é sustentável e eficiente.

Temos uma diferença de consumo de 75 099 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 6 383 €/ano, trata-se de uma redução de custos bastante importante para o AM1. Neste momento para que a opção LED seja instalada nos hangares, é necessário que o valor do investimento inicial seja menor, ou que sejam criadas linhas de apoio ao financiamento deste tipo de equipamentos, para promoção da eficiência energética.

O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 60. As vantagens de substituir a iluminação convencional pela tecnologia LED, neste cenário de estudo, são inúmeras e passam por proporcionar uma redução de consumo de 63,9% de energia elétrica, proporcionando assim um elevado rendimento, um elevado tempo de vida útil e minimiza o impacto ambiental com a redução de emissões de  $CO_2$ , conforme se pode verificar na Tabela 17. Verificamos assim, que evitamos aproximadamente 35 Ton  $CO_2$ eq de emissões  $CO_2$  com a implementação do sistema LED Philips.

#### **4.4.1.2. CENÁRIO 2 -HANGAR NORTE COM ILUMINAÇÃO LED**

O sistema de iluminação implementado no DIALux no total é composto por 30 luminárias LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22 W/4000K WT, 75 luminárias LEDVANCE HighBayLED 200 W/4 000 K 110DEG, 20 luminárias 3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO L1778, 72 luminárias 3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO L1778, 4 luminárias 3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO L1778, 12 focus projetor LED SMD 300 W 135 lm/W HE PRO. A Tabela 18 apresenta a lista das luminárias e as características das mesmas.

**Tabela 18 - Descrição do hangar Norte com sistema LED [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	12	22	264
2	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	12	22	264
3	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	6	22	132
4	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	8	200	1 600
5	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	57	114
6				
7				
8	3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO	1	65	65
9	3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO	3	53	159
10	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	3	200	600
11	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	8	200	1 600
12	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	24	53	1 272
13	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	9	53	477
14	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	7	53	371
15	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
16	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	12	53	636
17	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
18	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
19	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
20	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	3	42	126
21	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
22	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
23	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
24	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	57	114
25				
26				
27	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
28	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	2	53	106
29	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	7	42	294
30	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	56	200	11 200
Exterior	Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	12	300	3 600
Total		217	2 116	24 368

Foi realizada uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar. Os resultados são apresentados na Tabela 19, que apresenta o consumo de energia e o custo associado à utilização desta tecnologia de iluminação.



**Tabela 19 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, hangar Norte [17].**

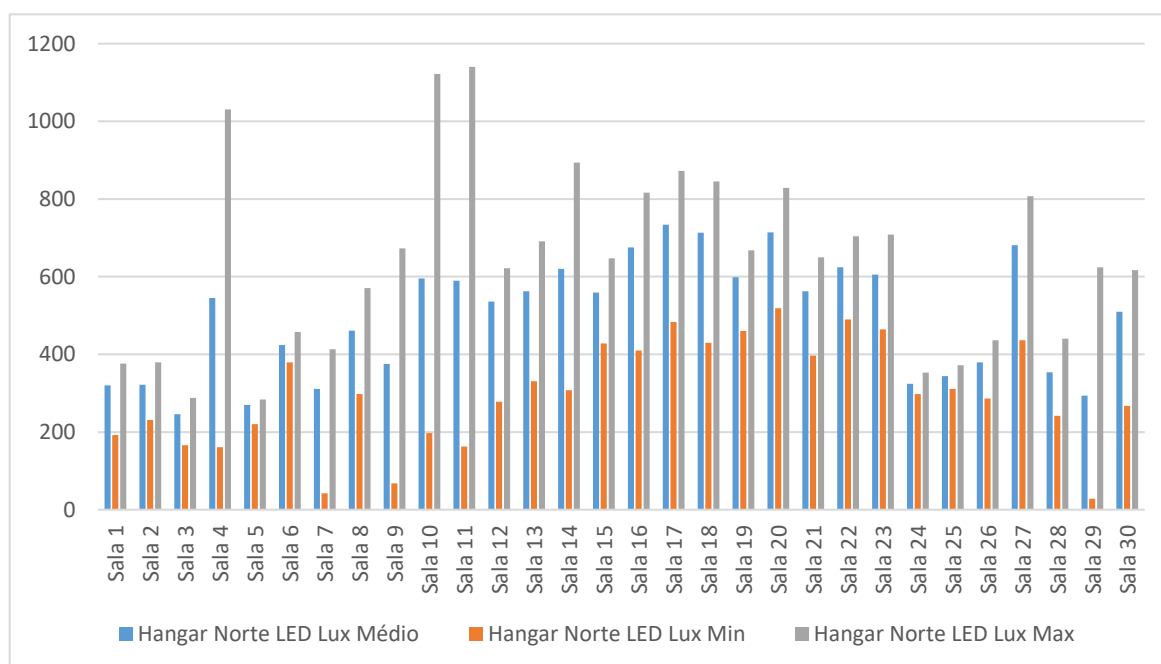
Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	264	480	41
2	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	264	480	41
3	LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	132	240	20
4	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	1 600	2 912	248
5	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	114	207	18
6				
7				
8	3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO	65	118	10
9	3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO	159	289	25
10	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	600	1 092	93
11	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	1 600	2 912	248
12	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	1 272	2 315	197
13	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	477	868	74
14	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	371	675	57
15	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
16	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	636	1 158	98
17	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
18	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
19	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
20	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	126	229	19
21	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
22	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
23	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
24	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	114	207	18
25				
26				
27	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
28	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	106	193	16
29	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	294	535	45
30	LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG	11 200	20 384	1 733
Exterior	Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	3 600	6 552	557
Total		24 368	44 350	3 770

Os níveis de iluminação foram obtidos em função da simulação do software DIALux para todo o hangar Norte. Os resultados são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Norte (LED) [17].**

Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	320	192	376	Sala 16	675	410	816
Sala 2	322	231	379	Sala 17	734	483	872
Sala 3	246	166	288	Sala 18	713	430	845
Sala 4	545	161	1031	Sala 19	599	460	668
Sala 5	270	220	284	Sala 20	714	519	829
Sala 6	424	379	458	Sala 21	562	397	650
Sala 7	311	42,3	413	Sala 22	624	490	704
Sala 8	461	298	571	Sala 23	605	464	708
Sala 9	375	67,7	673	Sala 24	324	298	353
Sala 10	595	197	1122	Sala 25	344	311	372
Sala 11	590	163	1140	Sala 26	379	286	436
Sala 12	536	278	622	Sala 27	681	436	807
Sala 13	562	331	691	Sala 28	354	242	440
Sala 14	620	308	894	Sala 29	294	28	624
Sala 15	559	428	647	Sala 30	510	267	617

O gráfico representado na Figura 24 apresenta os níveis de iluminância do hangar Norte para o cenário de cálculo.



**Figura 24 - Valores de iluminância em todo o hangar Norte (LED) [17].**

Nesta solução podemos verificar que foram utilizadas menos 55 luminárias com o sistema LED. Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED é muito maior em relação ao sistema instalado atualmente no hangar.

O retorno do investimento está calculado em 8,5 anos, sendo o consumo anual 62,3% inferior à instalação atual. Considerando que o material aplicado tem uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espektável superior a 50.000 horas, aproximadamente 27,5 anos para uma utilização de 1820 horas anuais, podemos admitir que o sistema é vantajoso para esta situação.

A Tabela 21 apresenta os indicadores do hangar Norte.

**Tabela 21 - Indicadores do hangar Norte (convencional vs LED) [17].**

Indicador	Atual	LED	Diferença
Consumo anual	117 608 kWh	44 350 kWh	73 259 kWh
Custo anual / mensal	9 997 €	3 770 €	6 227 €/ Ano = 519 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			62,3%
Custo do investimento		53 176 €	
CO2 enviado para a atmosfera anual	55,3 Ton CO2 eq	20,8 Ton CO2 eq	34,4 Ton CO2 eq
Retorno do investimento		102 Meses = 8,5Anos	

Ao analisar a dimensão do hangar Norte e face à economia de energia gerada com a iluminação LED, podemos concluir que esta solução tem vantagens em relação à situação atual.

Temos uma diferença de consumo de 73 259 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 6 227 €/ano. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 59.

Um dos aspetos importantes para a implementação de um sistema LED é a redução de emissões de  $CO_2$ , conforme se pode verificar na Tabela 21, mas também muito importante é a redução de consumo de energia elétrica de 62,3%. Verificamos assim, que evitamos aproximadamente 34 Ton  $CO_2$ eq de emissões  $CO_2$  com a implementação do sistema LED.

#### **4.4.2. ANÁLISE DO HANGAR SUL**

Este hangar possui uma área de 3 061,3 m<sup>2</sup> aproximadamente. Após realizar a simulação no DIALux obtiveram-se as seguintes iluminâncias médias para cada sala, (designação dada por definição do DIALux). Os resultados são apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (atual) [17].**

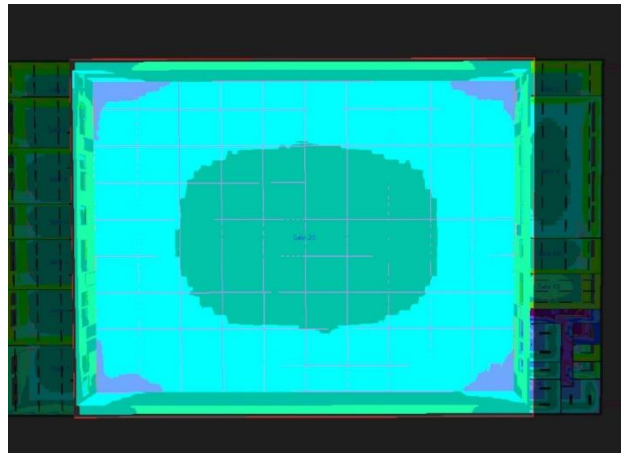
Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	812	613	952	Sala 11	1131	833	1314
Sala 2	837	568	1001	Sala 12	251	178	313
Sala 3	752	508	886	Sala 13	233	200	259
Sala 4	778	585	912	Sala 14	257	197	318
Sala 5	845	575	995	Sala 15	224	133	297
Sala 6	774	546	905	Sala 16	318	201	383
Sala 7	722	419	884	Sala 17	487	340	559
Sala 8	832	598	992	Sala 18	21,6	17,7	24,3
Sala 9	647	428	742	Sala 19	22,4	11,2	34,1
Sala 10	780	564	927	Sala 20	686	312	814

Com base nos valores obtidos pela simulação de iluminância para cada sala e tendo em consideração os equipamentos instalados, verificou-se que as salas 12, 13, 14 e 15, equipadas com lâmpadas fluorescente de 36 W, não cumprem os requisitos para a iluminância exigidos pela norma.

Estas salas são destinadas a escritórios onde é necessária uma iluminância média de 500 lux e pelos resultados obtidos pela simulação e apresentados na Tabela 22 , verifica-se que a iluminância média das salas referidas ronda os 280 lux.

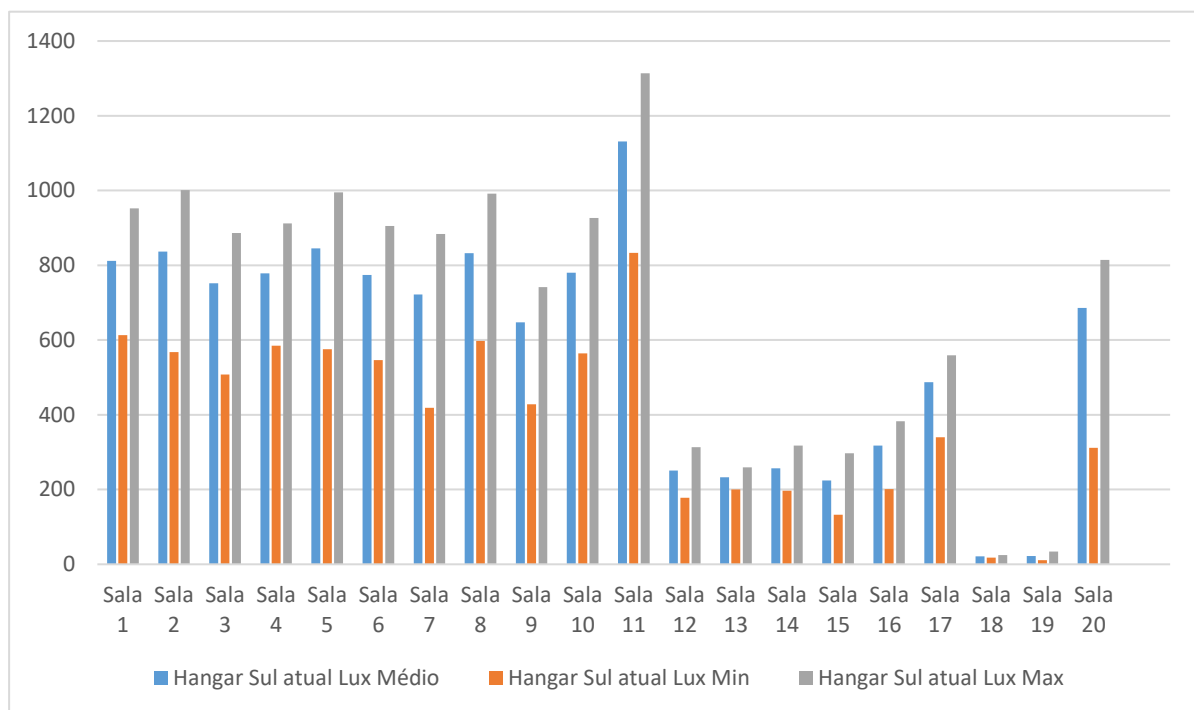
O mesmo acontece com a sala 18. Esta está equipada com uma lâmpada incandescente de 60 W e destina-se à mesma função da sala 12. Outra zona que não está em conformidade com a norma é a área de circulação e corredores, que apresenta uma iluminância média de 22,4 lux e a norma faz referência a uma iluminância média de 100 lux. As restantes salas estão sobredimensionadas, como se pode constatar na Tabela 22.

Na Figura 25 está representado o gráfico com as linhas *isolux* do hangar Sul, ou seja, os valores médios fornecidos pelo software para o sistema de iluminação existente atualmente no hangar Sul.



**Figura 25 - Linhas *isolux* e valores dos níveis de iluminância do hangar Sul [17].**

Pode-se verificar que os níveis de iluminância em certos locais não estão em conformidade com a norma EN12464-1 [5]. O gráfico representado na Figura 26 indica os níveis de iluminância do hangar.



**Figura 26 - Valores de iluminância no hangar Sul (atual) [17].**

Na Figura 26 está representado o gráfico dos níveis de iluminância média, máxima e mínima de todo o hangar Sul onde podemos verificar que existem algumas salas que estão sobredimensionadas e outras subdimensionadas.

#### 4.4.2.1. CENÁRIO 1 -HANGAR SUL COM ILUMINAÇÃO LED PHILIPS

A metodologia de estudo será a mesma que foi aplicada no hangar Norte. Vamos implementar no software a iluminação LED com equipamentos majoritariamente da marca Philips. O sistema de iluminação simulado no DIALux no total é composto por 32 luminárias Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20, 6 Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O, 2 luminárias Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839, 72 luminárias Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB, 6 focus projetor LED SMD 300W 135 lm/W HE PRO. A Tabela 23 apresenta a lista dos equipamentos a simular.

**Tabela 23 - Descrição do hangar Sul com sistema LED Philips [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
2	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
3	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	3	108	324
4	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
5	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
6	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	3	108	324
7	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	3	108	324
8	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
9	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	6	108	648
10	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
11	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	2	108	216
12	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	1	108	108
13	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
14	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	1	108	108
15	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	1	108	108
16	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	1	57	57
17	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	1	57	57
18	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
19	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
20	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	72	155	11 160
Exterior	Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	6	300	1 800
Total		118	2 243	16 854

Realizou-se uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar. Os resultados são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
2	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
3	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	324	590	50
4	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
5	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
6	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	324	590	50
7	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	324	590	50
8	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
9	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	648	1 179	100
10	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
11	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
12	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	108	197	17
13	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
14	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	108	197	17
15	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	108	197	17
16	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	57	104	9
17	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	57	104	9
18	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
19	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	108	197	17
20	Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	11 160	20 311	1 726
Exterior	Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	1 800	3 276	278
Total		16 854	30 674	2 607

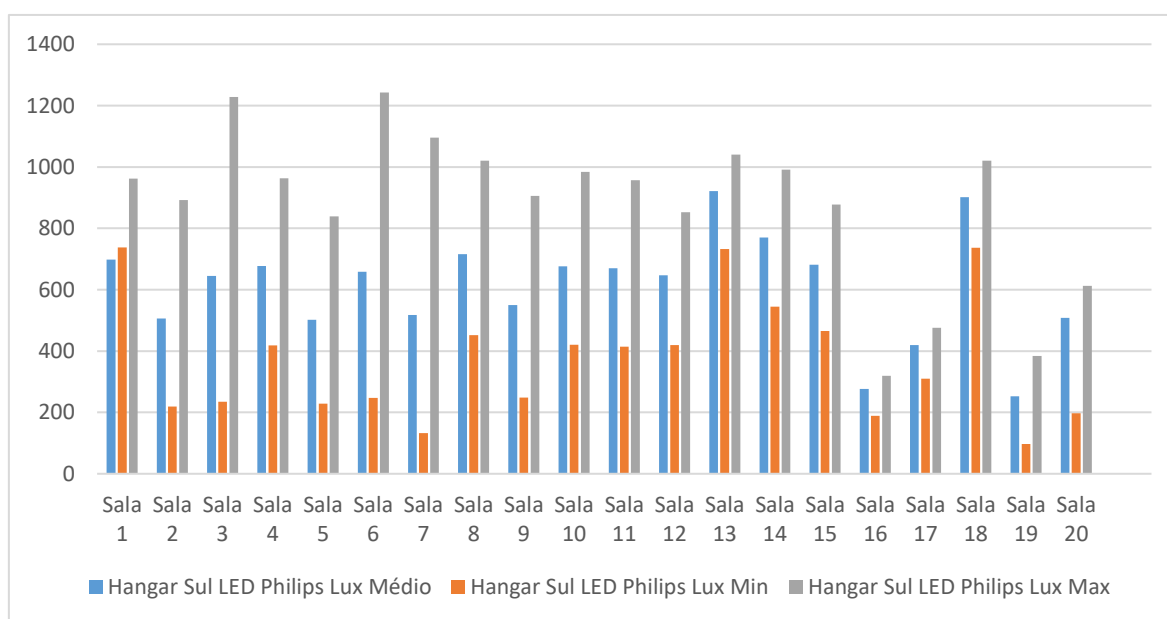
Para o referido cenário foi feita a simulação do sistema de iluminação para verificar se os níveis de iluminância estão em conformidade com a norma EN12464-1 [5].

A simulação foi efetuada recorrendo ao software DIALux para todo o hangar Sul. Os resultados são apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (LED Philips) [17].**

Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	698	438	962	Sala 11	670	414	957
Sala 2	506	219	892	Sala 12	647	419	853
Sala 3	645	235	1228	Sala 13	921	732	1040
Sala 4	677	418	963	Sala 14	770	545	991
Sala 5	502	229	839	Sala 15	681	465	878
Sala 6	658	247	1243	Sala 16	276	189	319
Sala 7	518	133	1096	Sala 17	419	310	476
Sala 8	716	452	1021	Sala 18	902	737	1021
Sala 9	550	248	906	Sala 19	252	96,6	384
Sala 10	676	421	984	Sala 20	508	197	612

O gráfico representado na Figura 27 indica os níveis de iluminância do hangar Sul para a situação LED Philips apresentados na Tabela 25.



**Figura 27 - Valores de iluminância em todo o hangar Sul (LED Philips) [17].**

A solução apresentada na Tabela 25 obedece aos níveis de iluminância requeridos pela norma EN 12464-1 [5].

Nesta solução podemos verificar que foram utilizadas menos 64 luminárias em relação à situação atualmente instalada. Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED Philips é muito maior em relação ao sistema instalado no hangar Sul (sistema convencional).



O retorno do investimento está calculado em 11,1 anos, sendo o consumo anual 61,6% inferior à instalação atual. Considerando que o material aplicado tem uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espektável superior a 50.000 horas, aproximadamente 27,5 anos para uma utilização de 1820 horas anuais, podemos admitir que o sistema é vantajoso para esta situação.

Todos os cálculos resultam de se admitir que a iluminação do hangar Sul é utilizada 35 horas por semana, mas se existir a necessidade de aumentar o tempo de iluminação do hangar o valor do retorno do investimento vai ser menor. Na Tabela 26 apresenta os indicadores do hangar Sul.

**Tabela 26 - Indicadores do hangar Sul (convencional vs LED Philips) [17].**

Indicador	Atual	LED Philips	Diferença
Consumo anual	79 814 kWh	30 674 kWh	49 140 kWh
Custo anual / mensal	6 784 €	2 607 €	4 177 €/ Ano = 348 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			61,6%
Custo do investimento		46 518 €	
CO2 enviado para a atmosfera anual	37,5 Ton CO2 eq	14,4 Ton CO2 eq	23,1 Ton CO2 eq
Retorno do investimento		134 Meses = 11,1Anos	

Ao analisar a dimensão do hangar Sul e face à economia de energia gerada com a iluminação LED Philips verifica-se que existe uma diferença de consumo de 49 140 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 4 177 €/ano, sendo esta redução de custos importante para o AM1.

Neste momento para que a opção LED Philips seja possível de instalar nos hangares, é necessário que o investimento inicial seja menor, ou que existam programas de apoio ao investimento. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 63.

Os fatores importantes para substituir a iluminação convencional pela iluminação LED é a de proporcionar uma redução de consumo de 61,6% de energia elétrica, o que proporciona um elevado rendimento e um elevado tempo de vida útil e ainda a minimização do impacto ambiental com a redução de emissões de  $CO_2$ , conforme se pode verificar na Tabela 26.

Verificamos assim, que evitamos aproximadamente 23 Ton  $CO_2$ eq de emissões  $CO_2$  com a implementação do sistema LED Philips.

#### 4.4.2.2. CENÁRIO 2 -HANGAR SUL COM ILUMINAÇÃO LED

O sistema de iluminação implementado no DIALux no total é composto por 77 luminárias 3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO, 2 Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839, 63 LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG, 6 focus projetor LED SMD 300W 135 lm/W HE PRO. A Tabela 27 apresenta a descrição detalhada de cada divisão do hangar.

**Tabela 27 - Descrição do hangar Sul com sistema LED [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	4	53	212
2	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
3	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
4	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	4	53	212
5	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
6	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	6	53	318
7	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	8	53	424
8	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	4	53	212
9	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	15	53	795
10	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	4	53	212
11	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	4	53	212
12	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	2	53	106
13	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	1	53	53
14	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	2	53	106
15	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	2	53	106
16	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	1	57	57
17	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	1	57	57
18	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	1	53	53
19	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	2	53	106
20	LEDVANCE HighBayLED 200 W/4000K 110DEG	63	200	12 600
Exterior	Foco Projector LED SMD 300 W 135lm/W HE PRO	6	300	1 800
Total		148	1 515	18 595

Realizou-se uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido hangar. Os resultados são apresentados na Tabela 28, que representa o consumo e a economia inerente ao uso da tecnologia LED.

**Tabela 28 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, hangar Sul [17].**

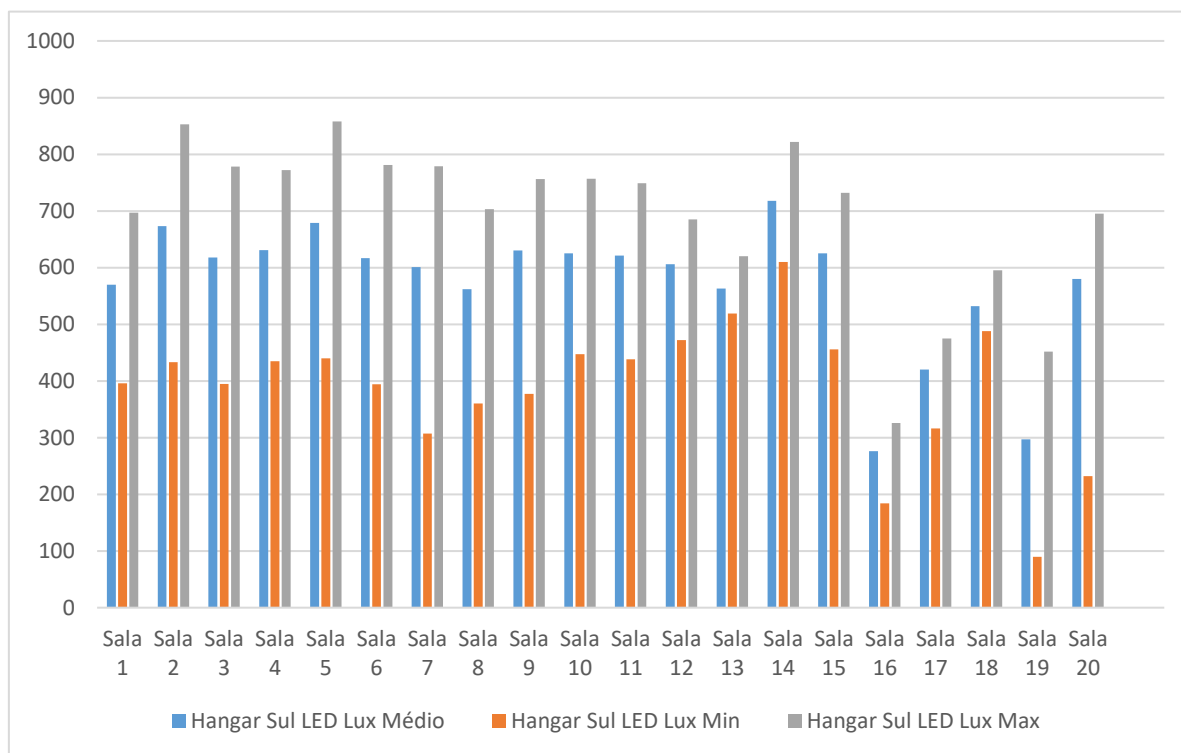
Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	212	386	33
2	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
3	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
4	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	212	386	33
5	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
6	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	318	579	49
7	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	424	772	66
8	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	212	386	33
9	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	795	1 447	123
10	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	212	386	33
11	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	212	386	33
12	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	106	193	16
13	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	53	96	8
14	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	106	193	16
15	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	106	193	16
16	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	57	104	9
17	Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	57	104	9
18	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	53	96	8
19	3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO	106	193	16
20	LEDVANCE HighBayLED 200 W/4000K 110DEG	12 600	22 932	1 949
Exterior	Foco Projector LED SMD 300 W 135lm/W HE PRO	1 800	3 276	278
Total		18 595	33 843	2 877

Os níveis de iluminância foram calculados através do software DIALux. Os resultados da simulação são apresentados na Tabela 29.

**Tabela 29 - Iluminâncias de cada divisão do hangar Sul (LED) [17].**

Salas	Lux			Salas	Lux		
	Médio	Min	Max		Médio	Min	Max
Sala 1	570	396	697	Sala 11	621	438	749
Sala 2	673	433	853	Sala 12	606	472	685
Sala 3	618	395	778	Sala 13	563	519	620
Sala 4	631	435	772	Sala 14	718	610	822
Sala 5	679	440	858	Sala 15	625	456	732
Sala 6	617	394	781	Sala 16	276	184	326
Sala 7	601	307	779	Sala 17	420	316	475
Sala 8	562	360	703	Sala 18	532	488	595
Sala 9	630	377	756	Sala 19	297	89,8	452
Sala 10	625	447	757	Sala 21	580	232	695

O gráfico representado na Figura 28 indica os níveis de iluminância do hangar Sul para a situação LED apresentados na Tabela 29.



**Figura 28 - Valores de iluminância em todo o hangar Sul (LED) [17].**

Nesta solução podemos verificar que foram utilizadas menos 34 luminárias neste cenário, em relação à situação atualmente instalada.

Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED da simulação é maior em relação ao sistema instalado no hangar Sul, pois são necessárias menos luminárias para garantir os níveis de iluminância pretendidos.

O retorno do investimento está calculado em 10,8 anos, sendo o consumo anual 57,6% inferior à instalação atual. Considerando que o material aplicado tem uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espektável superior a 50.000 horas, aproximadamente 27,5 anos para uma utilização de 1820 horas anuais, podemos admitir que o sistema é vantajoso para esta situação.

Os resultados demonstram que o investimento inicial com a compra das luminárias LED é o principal problema. A Tabela 30 apresenta os indicadores do hangar Sul.

**Tabela 30 - Indicadores do hangar Sul (convencional vs LED) [17].**

Indicador	Atual	LED	Diferença
Consumo anual	79 814 kWh	33 843 kWh	45 971 kWh
Custo anual / mensal	6 784 €	2 877 €	3 908 €/ Ano = 326 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			57,6%
Custo do investimento		42 212 €	
CO2 enviado para a atmosfera anual	37,5 Ton CO2 eq	15,9 Ton CO2 eq	21,6 Ton CO2 eq
Retorno do investimento		130 Meses = 10,8Anos	

Ao analisar a dimensão do hangar Sul e face à economia de energia gerada com a iluminação LED podemos concluir que esta solução é sustentável e eficiente. Temos uma diferença de consumo de 45 971 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 3 908 €/ano. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 62.

Um dos aspetos importantes para a implementação de um sistema LED é a redução de emissões de  $CO_2$ , conforme se pode verificar na Tabela 30, mas também muito importante é a redução de consumo de energia elétrica, que neste cenário é de 57,6%.

Verifica-se assim, que evitamos aproximadamente 22 Ton  $CO_2$ eq de emissões  $CO_2$  com a implementação do sistema LED.

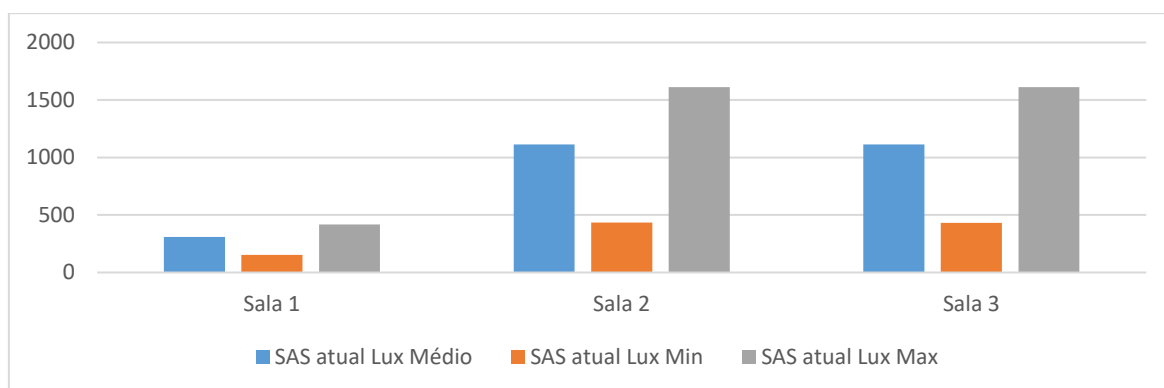
#### 4.4.3. ANÁLISE DA SAS

A SAS possui uma área de  $90 m^2$  aproximadamente. Este edifício destina-se a estacionamento de veículos de socorro. Da simulação no DIALux resultaram as seguintes iluminâncias médias para cada divisão apresentadas na Tabela 31.

**Tabela 31 - Iluminância média, de cada divisão da SAS [17].**

Salas	Lux		
	Médio	Min	Max
Sala 1	310	152	418
Sala 2	1113	434	1613
Sala 3	1114	432	1611

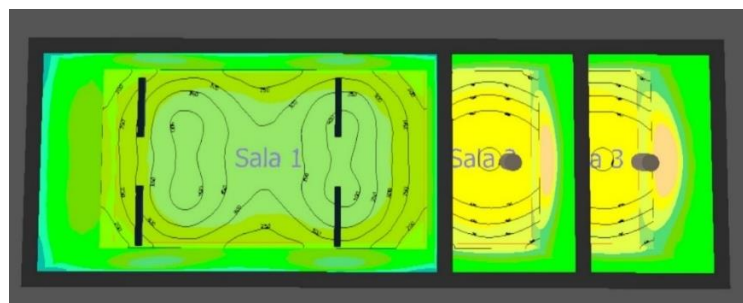
O gráfico apresentado na Figura 29 indica os níveis de iluminância da SAS para a situação atual apresentados na Tabela 31.



**Figura 29 - Valores de iluminância da SAS (atual) [17].**

Com base nos valores obtidos na simulação de iluminação e analisando os dados da Tabela 31, verificou-se que todas as divisões estão sobredimensionadas. A norma exige uma iluminância média para o tipo de local de 75 lux e pelos resultados da simulação apresentados verifica-se que a menor iluminância média é de 310 lux.

Na Figura 30 estão representadas as linhas *isolux* e os valores dos níveis de iluminação da SAS, estes são os valores médios fornecidos pelo software para o sistema de iluminação existente no local.



**Figura 30 - Linhas *isolux* e valores dos níveis de iluminação da SAS [17].**

#### **4.4.3.1. CENÁRIO 1 – SAS COM ILUMINAÇÃO LED PHILIPS**

A iluminação tem sido alvo de estudo no sentido de melhorar a eficiência energética (EE), porque a iluminação é um dos sistemas que contribui para os consumos globais.

As luminárias instaladas na SAS apesar de funcionais apresentam uma eficiência energética inferior às novas soluções existentes no mercado.

Toda a iluminação implementada no software DIALux é da marca Philips.

O sistema de iluminação simulado no DIALux, no cenário 1, é composto 8 luminárias Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865. A Tabela 32 apresenta a lista de luminárias e as características das mesmas.

**Tabela 32 - Descrição da SAS com sistema LED Philips [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência total (W)
1	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	4	54	216
2	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
3	Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	54	108
Total		8	162	432

Foi realizada uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido edifício. Os resultados são apresentados na Tabela 33 que apresenta o consumo de energia desta simulação, bem como o custo associado ao uso da tecnologia de iluminação escolhida para este cenário.

**Tabela 33 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED Philips, SAS [17].**

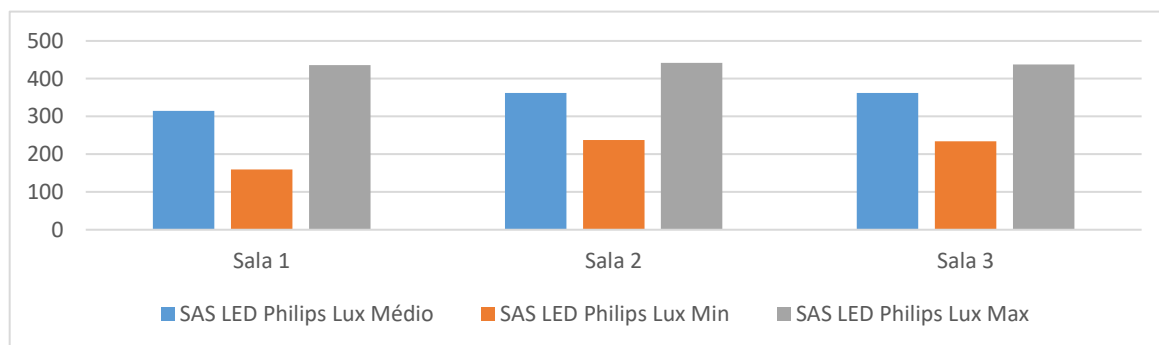
Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	216	393	33
2	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA21	108	197	17
3	Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA22	108	197	17
Total		432	786	67

Foi feita a simulação da iluminação do cenário, com vista a perceber se os níveis de iluminância produzidos estão de acordo com o recomendado pela norma. Os resultados são apresentados Tabela 34.

**Tabela 34 - Iluminâncias de cada divisão da SAS (LED Philips) [17].**

Salas	Lux		
	Médio	Min	Max
Sala 1	315	160	436
Sala 2	362	238	442
Sala 3	362	234	438

O gráfico apresentado na Figura 31 indica os níveis de iluminância da SAS para a situação LED Philips apresentados na Tabela 34.



**Figura 31 - Valores de iluminância da SAS (LED Philips) [17].**

Verifica-se pela análise da Tabela 34 que os resultados obtidos obedecem aos níveis de iluminância requeridos pela norma EN 12464-1 [5]. Nesta solução podemos verificar que foram necessárias menos 2 luminárias com o sistema LED Philips. Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED Philips é muito maior em relação ao sistema instalado na SAS (sistema convencional).

O retorno do investimento está calculado em 10,5 anos, sendo o consumo anual 68,5% inferior à instalação atual. Considerando que o material aplicado tem uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espectável superior a 50.000 horas, aproximadamente 27,5 anos para uma utilização de 1820 horas anuais, podemos admitir que o sistema é vantajoso para esta situação. A Tabela 35 apresenta os indicadores da SAS.

**Tabela 35 - Indicadores da SAS (convencional vs LED Philips) [17].**

Indicador	Atual	LED Philips	Diferença
Consumo anual	2 493 kWh	786 kWh	1 707 kWh
Custo anual / mensal	212 €	67 €	145€/ Ano = 12€/ Mês
Rácio de poupança de energia			68,5%
Custo do investimento		1 520€	
CO2 enviado para a atmosfera anual	1,2 Ton CO2 eq	0,4 Ton CO2 eq	0,8 Ton CO2 eq
Retorno do investimento		126 Meses = 10,5 Anos	



Temos uma diferença de consumo de 1 707 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 145 €/ano. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 65.

As vantagens de substituir a iluminação convencional pela tecnologia LED, neste cenário de estudo, são inúmeras e passam por proporcionar uma redução de consumo de 68,5% de energia elétrica, o que proporciona um elevado rendimento, um elevado tempo de vida útil e minimiza o impacto ambiental com a redução de emissões de  $CO_2$ , conforme se pode verificar na Tabela 35.

Verificamos assim, que evitamos aproximadamente 0,8 Ton  $CO_2$ eq de emissões  $CO_2$  com a implementação do sistema LED Philips.

#### 4.4.3.2. CENÁRIO 2 - SAS COM ILUMINAÇÃO LED

O sistema de iluminação simulado no DIALux, no cenário 2, é composto 8 luminárias 3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO. A Tabela 36 apresenta a lista de luminárias e as características das mesmas.

**Tabela 36 - Descrição da SAS com sistema LED [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada (W)	Potência Total (W)
1	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	4	42	168
2	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
3	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	42	84
Total		8	126	336

Foi realizada uma estimativa de consumo de energia e do custo de energia para o referido edifício.

Os resultados são apresentados na Tabela 37 que apresenta o consumo de energia desta simulação, bem como o custo associado ao uso da tecnologia de iluminação escolhida para este cenário.

**Tabela 37 - Consumo e custo anual estimado do sistema LED, da SAS [17].**

Salas	Caraterísticas lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
1	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	168	306	26
2	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
3	3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	84	153	13
Total		336	612	52

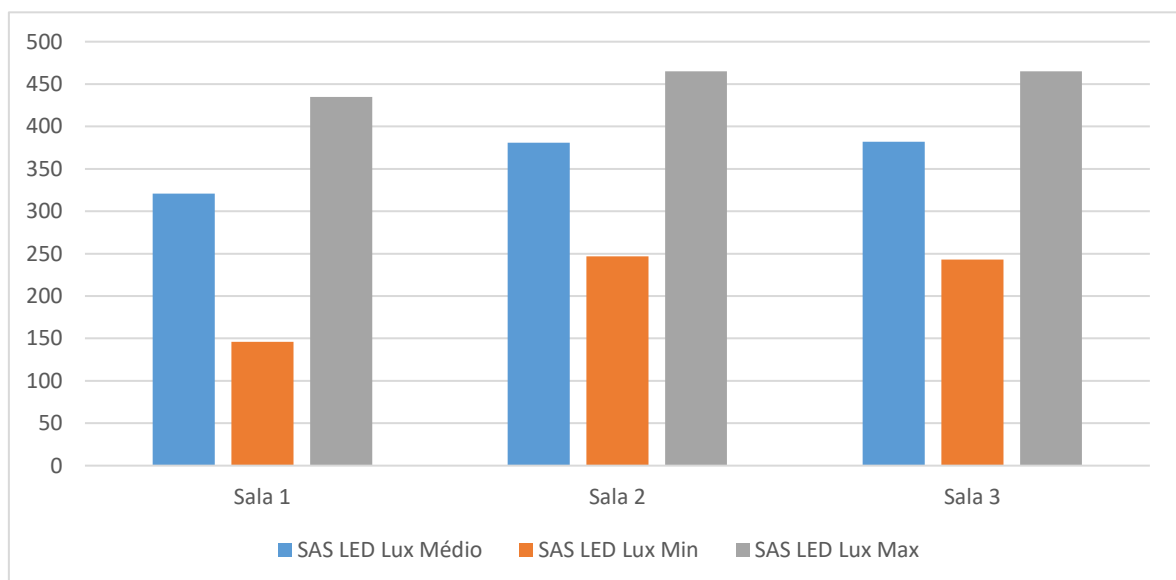
Foi feita a simulação da iluminação do cenário, com vista a perceber se os níveis de iluminância produzidos estão de acordo com o recomendado pela norma.

Os resultados são apresentados na Tabela 38.

**Tabela 38 - Iluminâncias de cada divisão da SAS (LED) [17].**

Salas	Lux		
	Médio	Min	Max
Sala 1	321	146	435
Sala 2	381	247	465
Sala 3	382	243	465

O gráfico apresentado na Figura 32 indica os níveis de iluminância da SAS para a situação LED apresentados na Tabela 38.



**Figura 32 - Valores de iluminância da SAS (LED) [17].**

Verifica-se pela análise da Tabela 38 que os resultados obtidos obedecem aos níveis de iluminância requeridos pela norma EN 12464-1 [5]. Nesta solução podemos verificar que foram necessárias menos 2 luminárias com o sistema LED. Perante esta situação pode-se concluir que a eficiência luminosa do sistema LED é muito maior em relação ao sistema instalado na SAS (sistema convencional). A Tabela 39 apresenta os indicadores da SAS para o sistema LED.

**Tabela 39 -Indicadores da SAS (convencional vs LED) [17].**

Indicador	Atual	LED	Diferença
Consumo anual	2 493 kWh	612 kWh	1 882 kWh
Custo anual / mensal	212 €	52 €	160 €/ Ano = 13 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			75,5%
Custo do investimento		1 417 €	
CO <sub>2</sub> enviado para a atmosfera anual	1,2 Ton CO <sub>2</sub> eq	0,3 Ton CO <sub>2</sub> eq	0,9 Ton CO <sub>2</sub> eq
Retorno do investimento		106 Meses = 8,9 Anos	

Temos uma diferença de consumo de 1 882 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 160 €/ano. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 66.

As vantagens de substituir a iluminação convencional pela tecnologia LED, neste cenário de estudo, são inúmeras e passam por proporcionar uma redução de consumo de 75,5% de energia elétrica, o que proporciona um elevado rendimento, um elevado tempo de vida útil e minimiza o impacto ambiental com a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, conforme se pode verificar na Tabela 39. Verificamos assim, que evitamos aproximadamente 0,9 Ton CO<sub>2</sub>eq de emissões CO<sub>2</sub> com a implementação do sistema LED.

#### **4.4.4. ANÁLISE ATUAL DA PISTA**

Neste subcapítulo será analisada a situação atual da iluminação em infraestruturas aeronáuticas da pista de aviação, no domínio ambiental, das normas em vigor e da política de exploração. Não se vai realizar o estudo económico da iluminação da pista, porque não se obteve resposta por parte dos fornecedores aos pedidos de orçamentos das luminárias a instalar. Apenas foi fornecido um orçamento que contempla os valores das luminárias referentes aos *taxiways* e respetivos transformadores.

O sistema de iluminação de uma pista de aviação é composto por luminárias, regulador de corrente constante, cabo de média tensão e transformadores, como já foi referido anteriormente. A Tabela 12 descreve e quantifica o material atualmente instalado no AM1, bem como reúne informações sobre a potência de cada circuito. Os dados obtidos do consumo anual de energia, em kWh, e o custo anual, em euros, são apresentados na Tabela 40.

**Tabela 40 – Consumo anual estimado das luminárias da pista [17].**

PISTA	Caraterística lâmpada	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
<i>Runway</i>	EZL 200W 6,6A GY9,5	29 600	53 872	4 579
<i>Papis</i>	HLX 200W 6,6A PK 30d	12 800	23 296	1 980
<i>Taxiway</i>	6,6A 30W (Philips 7669C P28S)	45 525	82 856	7 043
<i>Threshold</i>	200W 6,6A PAR 56/3	8 000	14 560	1 238
<i>Approach</i>	200W 6,6A PAR 56/2	42 800	77 896	6 621
<i>Beacon</i>	1 000W 220V PAR64 NSP	8 000	14 560	1 238
TOTAL		146 725	267 040	22 698

Na Tabela 40 é possível verificar que consumo anual é de 267 040 kWh e cujo custo se situa nos 23 mil euros. Como a metodologia utilizada nesta investigação teve como procedimento a realização da revisão da literatura, pesquisa e levantamentos de dados no local, a seleção dos equipamentos apresentados na Tabela 41 assenta na pesquisa efetuada de acordo com a certificação da FAA e tendo em conta as circulares AC 150/5345-46E e a AC 150/5345-53D [42] [43].

**Tabela 41 – Material Led a aplicar na pista [17].**

PISTA	Caraterística Lâmpada	Quantidade Luminárias	Potência nominal por Lâmpada (W)	Potência nominal por transformador (W)	Potência Total (W)
<i>Runway</i>	OCEM LERE 45VA	74	45	65	8 140
<i>Papis</i>	PAPI LED	32			
<i>Taxiway</i>	OCEM LETE 6VA	607	6	15	12 747
<i>Threshold</i>	OCEM LERA-TG 30VA	20	30	45	1 500
<i>Approach</i>	OCEM LERA-AC 38VA	107	38	65	11 021
<i>Beacon</i>	OCEM	4			
TOTAL		844			33 408

As soluções apresentadas foram obtidas após consulta de vários fornecedores e da análise dos equipamentos disponíveis no mercado. Para o estudo optou-se pela utilização de equipamentos da marca OCEM.

Neste momento a empresa OCEM não fabrica equipamentos *PAPIS* nem *BEACON*. Para substituir o equipamento *PAPIS* por um sistema LED a empresa “FLIGHT LIGHT” apresenta *PAPI LED* (*Precision Approach Path Indicator Metalite*), mas na folha de dados do produto também não especifica o seu consumo [44].

Outra empresa que comercializa este tipo específico de iluminação é a “ADB *Safegate*” com o produto *PAPI-L*, mas a nível de consumos deste tipo de equipamento, também não se obtiveram informações, é apenas referido que o modelo utiliza 62 a 80% menos energia do que os *PAPIS* tradicionais [45]. Deste modo não foram contabilizados os seus consumos. Existem no mercado várias empresas a fabricar luminárias para aviação, assim a escolha de outro tipo de equipamento poderá influenciar os resultados expressos na Tabela 41.

Com a instalação do novo equipamento em LED, o cálculo da potência total do circuito passa a ser de 33 408W.

Os resultados com as respetivas soluções estão apresentados na Tabela 42.

**Tabela 42 - Consumo anual estimado das luminárias da pista em LED [17].**

PISTA	Caraterística Lâmpada	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo Anual (€)
<i>Runway</i>	OCEM LERE 45VA	8 140	14 815	1 259
<i>Papis</i>	OCEM PAPI 500W			
<i>Taxiway</i>	OCEM LETE 6VA	12 747	23 200	1 972
<i>Threshold</i>	OCEM LERA-TG 30VA	1 500	2 730	232
<i>Approach</i>	OCEM LERA-AC 38VA	11 021	20 058	1 705
<i>Beacon</i>	OCEM			
TOTAL		33 408	60 803	5 168

Ao analisar a Tabela 42, verificamos que a maior parte do consumo pertence ao circuito de *Approach*, *Taxiway* e *Runway*.

Como existem diversos circuitos de *taxiways*, os 23 200 kWh existem efetivamente se todos os circuitos de *taxiways* estivessem ligados.

Ao contrário dos circuitos de *Approach* e *Runway*, pois estes circuitos são sempre ligados quando existem aterragens. A Tabela 43 apresenta os indicadores da pista.

**Tabela 43 – Indicadores da pista [17].**

Indicador	Atual	LED	Diferença
Consumo anual	267 040 kWh	60 803 kWh	206 237 kWh
Custo anual / mensal	22 698 €	5 168 €	17 530 €/ Ano = 1 461 €/ Mês
Rácio de poupança de energia			77,2%
CO <sub>2</sub> enviado para a atmosfera anual	125,5 Ton CO <sub>2</sub> eq	28,6 Ton CO <sub>2</sub> eq	96,9 Ton CO <sub>2</sub> eq

Ao analisar a dimensão da pista e face à economia gerada com a implementação da iluminação com tecnologia LED, pode-se concluir que esta solução é vantajosa.

Temos uma redução de consumo de energia de 206 237 kWh/ano, o que equivale a uma economia de 17 530 €/ano. A substituição do sistema atual pelo sistema LED tem uma redução de consumo de energia elétrica de 77,2%, face à situação atualmente instalada na base aérea. Pela análise da Tabela 43 verificamos uma redução para 28,6 Ton CO<sub>2</sub> eq de emissões CO<sub>2</sub> enviadas para a atmosfera com a implementação do sistema LED na pista, em vez de 125,5 Ton CO<sub>2</sub>eq com o sistema atual implementado.

Face ao exposto, observa-se que a substituição do sistema de iluminação parece viável em termos de redução das emissões CO<sub>2</sub> enviadas para a atmosfera.

Neste caso temos 96,9 Ton CO<sub>2</sub> eq não enviadas para a atmosfera, o que represente uma redução de 77,2% às emissões atuais.

#### **4.4.4.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL A IMPLEMENTAR NA PISTA**

Após consulta de vários fornecedores e da análise aos equipamentos disponíveis no mercado, as soluções obtidas estão mencionadas na Tabela 44. Como já referido nesta investigação, existem no mercado várias empresas a fabricar luminárias para aviação, assim a escolha de outro tipo de equipamento para o estudo é aceitável, desde que esteja em conformidade com as normas e que os equipamentos estejam certificados de acordo com a FAA.

**Tabela 44 – Iluminação LED a aplicar na Pista [17].**

PISTA	Caraterística Lâmpada Atual	OCEM LED
<i>Runway</i>	EZL 200W 6,6A GY9,5	OCEM LERE 45VA
<i>Papis</i>	HLX 200W 6,6A PK 30d	PAPI LED
<i>Taxiway</i>	6,6A 30W (Philips 7669C P28S)	OCEM LETE 6VA
<i>Threshold</i>	200W 6,6A PAR 56/3	OCEM LIRH
<i>Approach</i>	200W 6,6A PAR 56/2	OCEM LERA-AC 38VA
<i>Beacon</i>	1 000W 220V PAR64 NSP	

Para que a tecnologia LED apresente o mesmo comportamento das luminárias convencionais, a FAA emite requisitos específicos a cumprir [46].

As luminárias estão certificadas para os padrões mais recentes e respeitam as normas. As caraterísticas das luminárias estão no Anexo A.

➤ LERE [47],

- ✓ ICAO: *Annex 14* – Volume I;
- ✓ FAA: L-862-E AC150/5345-46 and “*Engineering Brief No.67*”;
- ✓ NATO: *STANAG 3316*;

➤ PAPI LED [44],

- ✓ ICAO: *Annex 14* – Volume I;
- ✓ FAA-E-3007;
- ✓ AC150/5345-28G;

➤ LETE [48],

- ✓ ICAO: *Annex 14* – Volume I;
- ✓ FAA: L-861T AC150/5345-46 and “*Engineering Brief No.67*”;
- ✓ NATO: *STANAG 3316*;

- LIRH [49],
  - ✓ ICAO: *Annex 14* – Volume I;
  - ✓ FAA: L-850D AC150/5345-46 and “*Engineering Brief No.67*”;
  - ✓ NATO: *STANAG 3316*;
- LERA [50],
  - ✓ ICAO: *Annex 14* – Volume I;
  - ✓ FAA: L-862-S AC150/5345-46 and “*Engineering Brief No.67*”;
  - ✓ NATO: *STANAG 3316*;

## 4.5. ANÁLISE ECONÓMICA

Nesta secção pretende-se analisar a viabilidade económica do projeto, os níveis de consumo de energia elétrica, os níveis de emissões de  $CO_2$  para a atmosfera e o investimento.

Estes parâmetros são essenciais para a análise do projeto, mas temos de ter em consideração outros fatores. É essencial calcular os consumos diários, mensais e anuais.

Outro fator a ter em ponderação é o tempo de vida das luminárias aplicadas e estudar a viabilidade económica. No estudo do projeto e como referido anteriormente, foram efetuados dois cenários, tanto para o hangar Norte, hangar Sul e SAS utilizando diferentes marcas de luminárias de forma a ponderar efetivamente qual a melhor solução a implementar.

### 4.5.1. ANÁLISE DO HANGAR NORTE

O objetivo principal da substituição das luminárias tradicionais pelas luminárias LED é a de diminuir os encargos com a energia elétrica e diminuir as emissões de  $CO_2$  para a atmosfera. O consumo do hangar Norte ronda os 118 kWh, o que representa um encargo anual de 9 997 € para o AM1.



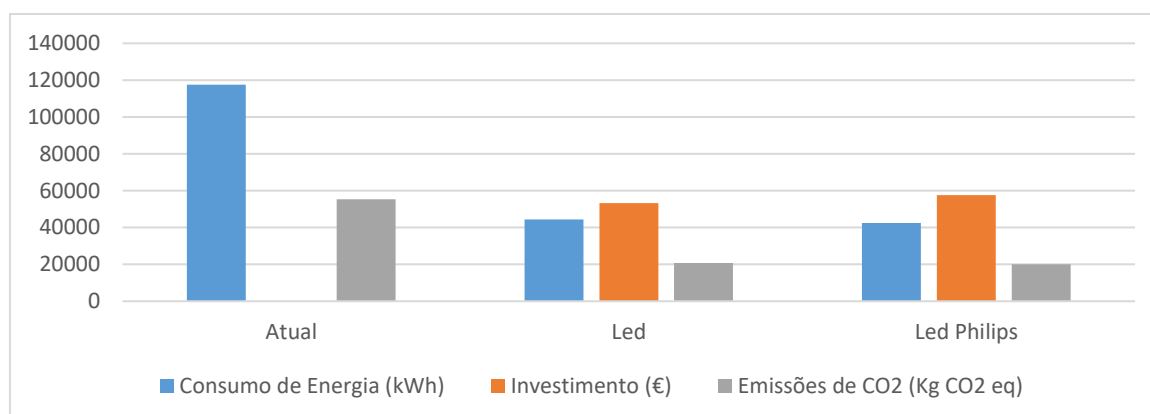
Ao realizar-se a substituição das luminárias é expectável que o consumo de energia e a libertação de  $CO_2$  diminua e prevê-se que os encargos tenham uma redução de 60%.

Como se pode constatar pela análise da Tabela 45, as soluções propostas para a realização do projeto apresentam essa diminuição, quando comparado com a situação atual.

**Tabela 45 – Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (hangar Norte) [17].**

Indicador	Atual	LED	LED Philips
Consumo de Energia (kWh)	117 608	44 350	42 510
Investimento (€)	0	53 176	57 539
Emissões de $CO_2$ (Kg $CO_2$ eq)	55 276	20 844	19 980

A representação gráfica do consumo de energia, do investimento e das emissões  $CO_2$  do hangar Norte, apresenta-se esquematizada na Figura 33.



**Figura 33 - Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (hangar Norte) [17].**

Como se pode constatar ao analisar o gráfico da Figura 33 e comparando o sistema atual com o sistema LED, verifica-se uma diminuição do consumo de energia anual de 117 608 kWh para 44 350 kWh, o que traduz numa diminuição de cerca de 62,3% e que equivale a redução de aproximadamente 73 259 kWh/ano.

Os encargos com a energia elétrica passam a representar 3 770 €, obtendo-se uma poupança de 6 227 € anuais, considerando o preço médio para a energia igual a 0,085 €/kWh.

Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento, tendo o resultado sido 8,5 anos. Contudo, o investimento inicial é zero, pois a iluminação no hangar já se encontra implementada. Para o investimento da situação LED o investimento foi avaliado em 53 176 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 59.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 20,8 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 34,4 Ton  $CO_2$  eq que não são enviados para a atmosfera. Este último fator deve cada vez mais ser considerado nos projetos de eficiência energética. Voltando a analisar o gráfico da Figura 33 e comparando o sistema atual com o sistema LED Philips, verifica-se uma diminuição de consumo de energia anual de 117 608 kWh para 42 510 kWh. A redução é de 63,9% o que equivale a reduzir aproximadamente 75 099 kWh/ano.

Os encargos com a energia elétrica passam a representar 3 613 €, obtendo-se uma poupança de 6 383 € anuais. Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento, sendo o valor obtido de cerca de 9 anos. O investimento da situação LED Philips foi avaliado em 57 539 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 60.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 20 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 35,3 Ton  $CO_2$  eq que não são enviadas para a atmosfera. Apesar do sistema LED Philips apresentar um investimento e o retorno do investimento superior ao sistema LED, conclui-se que o sistema de iluminação mais adequado para o hangar Norte é o sistema LED Philips.

Este sistema apresenta um custo inicial 4 363 € superior ao sistema LED, mas a longo prazo esse investimento vai compensar de duas formas, a nível de consumo de energia e ainda na minimização do impacto ambiental com a redução de emissão de  $CO_2$ .

Considerando que as luminárias da Philips têm uma garantia de fábrica de 5 anos e vida útil espectável superior a 50 000 h, ou seja, aproximadamente 28 anos, considerando o cenário de utilização da instalação usado para o cálculo das simulações, podemos afirmar com segurança que o projeto é vantajoso.

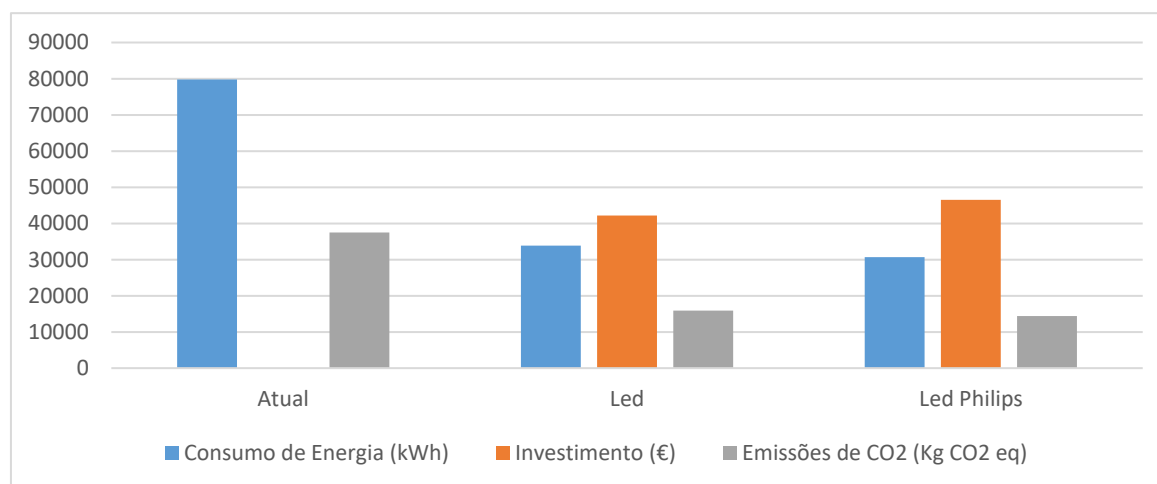
### 4.5.2. ANÁLISE DO HANGAR SUL

O consumo do hangar Sul ronda os 79 814 kWh, o que representa um encargo anual de 6 784 € para o AM1. Ao realizar-se a substituição das luminárias é expectável que o consumo de energia e a libertação de  $CO_2$  diminua e prevê-se que os encargos tenham uma redução de 60%. Como se pode constatar pela Tabela 46, as soluções propostas para a realização do projeto apresentam essa diminuição quando comparado com a situação atual.

**Tabela 46 - Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (hangar Sul) [17].**

Indicador	Atual	LED	LED Philips
Consumo de Energia (kWh)	79 814	33 843	30 674
Investimento (€)	0	42 212	46 518
Emissões de $CO_2$ (Kg $CO_2$ eq)	37 513	15 906	14 417

A representação gráfica do consumo de energia, do investimento e das emissões  $CO_2$  do hangar Sul, apresenta-se esquematizada na Figura 34.



**Figura 34 - Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (hangar Sul) [17].**

Como se pode verificar na Figura 34 a comparação do sistema atual com o sistema LED, constata-se uma diminuição do consumo de energia anual de 79 814 kWh para 33 843 kWh. Representa assim uma redução de cerca de 57,6% o que equivale a reduzir aproximadamente 45 971 kWh/ano.

Os encargos com a energia elétrica passam a representar 2 877 € por ano, obtendo-se uma poupança de 3 908 € anuais. Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento, que se situou em cerca de 10,8 anos.

O investimento inicial do sistema LED foi avaliado em 42 212 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 62.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 15,9 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 21,6 Ton  $CO_2$  eq que não são enviadas para a atmosfera.

Realizando nova análise ao gráfico da Figura 34 e comparando o sistema atual com o sistema LED Philips, verifica-se uma diminuição de consumo de energia anual de 79 814 kWh para 30 674 kWh, o que se traduz numa diminuição de cerca de 61,6% e que equivale a uma redução de aproximadamente 49 140 kWh/ano.

Os encargos anuais com a energia elétrica passam a representar 2 607 €, obtendo-se uma poupança de 4 177 € anuais. Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento deste cenário de cálculo, tendo-se situado nos 11,1 anos. O investimento inicial para instalar o cenário LED Philips foi avaliado em 46 518 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 63.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 14,4 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 23,1 Ton  $CO_2$ eq que não foram enviadas para a atmosfera.

Apesar do sistema LED Philips apresentar um investimento e o retorno do investimento superior ao sistema LED, conclui-se que o sistema de iluminação mais adequado para o hangar Sul é o sistema LED Philips.

Este sistema apresenta um custo inicial de 4 306 € maior que o sistema LED, mas a longo prazo esse investimento vai compensar de duas formas, a nível de consumo de energia e ainda na diminuição do impacto ambiental com a redução de emissão de  $CO_2$ .

Tendo em conta o referido para o hangar Sul, podemos afirmar com segurança que o projeto é vantajoso.

### 4.5.3. ANÁLISE DA SAS

O consumo da SAS ronda os 2 493 kWh, o que representa um encargo anual de 212 € para o AM1.

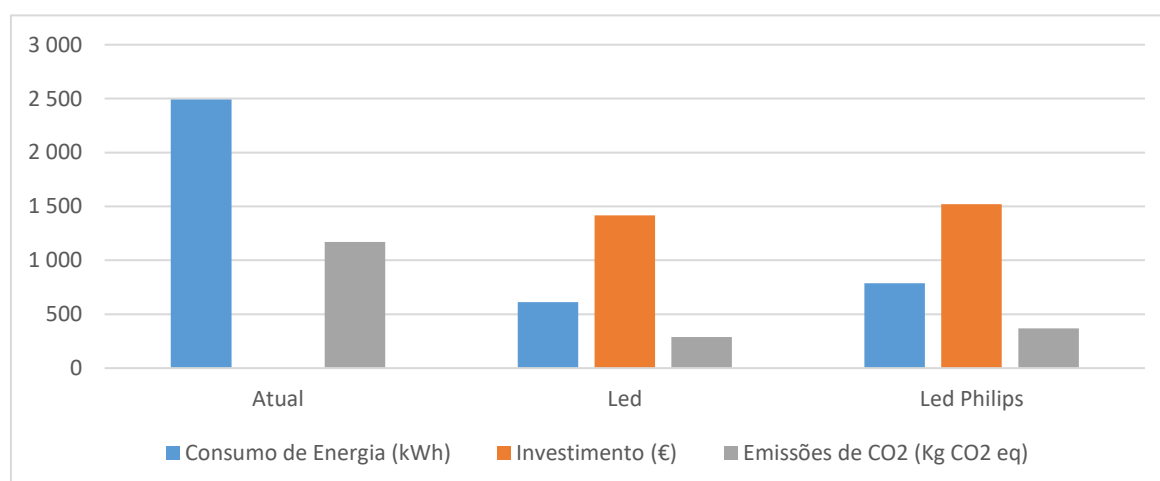
Ao realizar-se a substituição das luminárias é expectável que o consumo de energia e a libertação de  $CO_2$  diminua prevendo-se assim que os encargos sofram uma redução.

Como se pode constatar pela Tabela 47, as soluções propostas para a realização do projeto apresentam essa redução quando comparado com a situação atual.

**Tabela 47 - Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (SAS) [17].**

Indicador	Atual	LED	LED Philips
Consumo de Energia (kWh)	2 493	612	786
Investimento (€)	0	1 417	1 520
Emissões de $CO_2$ (Kg $CO_2$ eq)	1 172	287	370

A representação gráfica do consumo de energia, do investimento e das emissões  $CO_2$  da SAS, apresenta-se esquematizada na Figura 35.



**Figura 35 - Consumo de energia, investimento e emissões  $CO_2$  (SAS) [17].**

Como se pode verificar na Figura 35 a comparação do sistema atual com o sistema LED, constata-se uma diminuição de consumo de energia anual de 2 493 kWh para 612 kWh, o que se traduz numa diminuição de cerca de 75,5%, e que equivale a uma redução de aproximadamente 1 882 kWh/ano.

Os encargos com a energia elétrica passam a representar 52 € por ano, obtendo-se uma poupança de 160 € anuais. Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento, que se situou em cerca de 8,9 anos.

O investimento inicial da situação LED foi avaliado em 1 417 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 66.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 0,3 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 0,9 Ton  $CO_2$  eq que não são enviadas para a atmosfera.

Realizando nova análise ao gráfico da Figura 35 e comparando o sistema atual com o sistema LED Philips, verifica-se uma diminuição de consumo de energia anual de 2 493 kWh para 786 kWh, o que se traduz numa diminuição de cerca de 68,5% e que equivale a uma redução de aproximadamente 1 707 kWh/ano.

Os encargos anuais com a energia elétrica passam a representar 67 €, obtendo-se uma poupança de 145 € anuais. Com base nos resultados foi calculado o retorno do investimento, que se situou em cerca de 10,5 anos. O investimento inicial para instalar o cenário LED Philips foi avaliado em 1 520 €. O cálculo relativo ao custo do investimento encontra-se mais pormenorizado no Anexo B, Tabela 65.

Como era expectável, as emissões de  $CO_2$  também diminuíram para valores de aproximadamente 0,4 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 0,8 Ton  $CO_2$ eq que não foram enviados para a atmosfera.

#### **4.5.4. ANÁLISE DA PISTA**

O consumo da pista e periféricos ronda os 267 040 kWh, o que representa um encargo anual de 22 698 € para o Aeródromo de Manobra Nº 1.

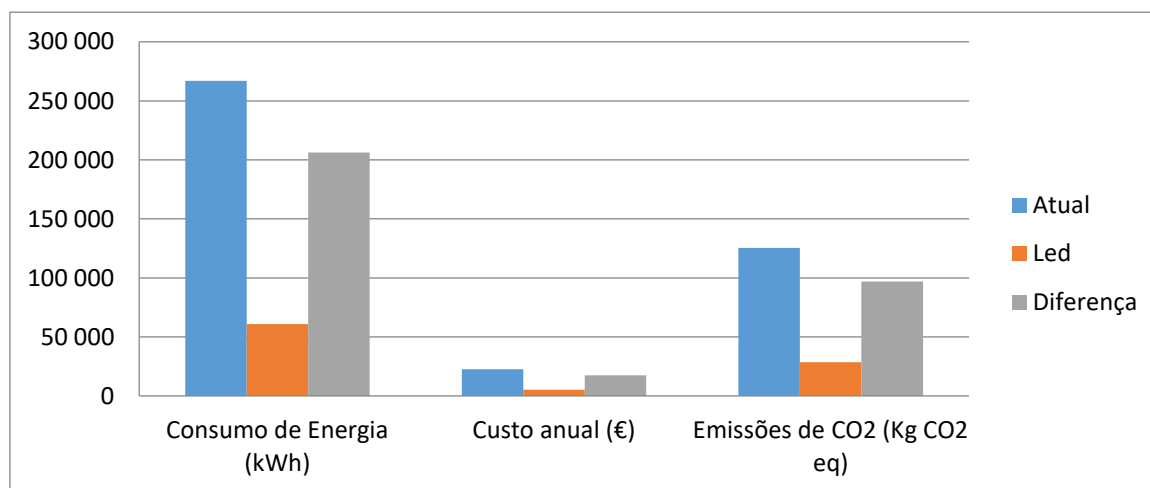
Ao realizar-se a substituição das luminárias é expectável que o consumo de energia e a libertação de  $CO_2$  diminua.

Como se pode constatar pela Tabela 48 isso é bem visível. As soluções propostas para a realização do projeto apresentam bem essa diminuição, quando comparado com a situação atual.

**Tabela 48 - Consumo de energia, consumo anual e emissões  $CO_2$  (pista) [17].**

Indicador	Atual	LED	Diferença
Consumo de Energia (kWh)	267 040	60 803	206 237
Custo Anual (€)	22 698	5 168	17 530
Emissões de $CO_2$ (Kg $CO_2$ eq)	125 508,6	28 577,2	96 931,4

Mais uma vez, pela Tabela 48 podemos aferir que a tecnologia Led consome menos energia, tem menos gastos com a energia e tem menos libertação de  $CO_2$ . A representação gráfica do consumo de energia, do custo anual e das emissões  $CO_2$  da pista, apresenta-se esquematizada na Figura 36.



**Figura 36 – Gráfico consumo de energia, custo e emissões  $CO_2$  (pista) [17].**

Pela análise da Figura 36 é possível verificar as importâncias envolvidas e a comparação do sistema atual com o sistema LED, constata-se uma diminuição de consumo de energia anual de 267 040 kWh para 60 803 kWh, o que representa uma redução de cerca de 77,2%, o que equivale a reduzir aproximadamente 206 237 kWh/ano. Os encargos com a energia elétrica passam a representar 5 168 € por ano, obtendo-se uma poupança de 17 530 € anuais, sendo o preço de faturação considerado igual a 0,085 €/kWh.

O retorno do investimento não foi calculado por não ter sido possível obter orçamentos.

O retorno do investimento com a iluminação LED do aeródromo é superior em comparação com o sistema convencional, mas como a manutenção é reduzida e o consumo de energia também é reduzido, a longo prazo existe poupança de custos inerentes ao sistema [51].

Como era expectável as emissões de  $CO_2$  também diminuiram para valores de aproximadamente 28,6 Ton  $CO_2$  eq, obtendo-se cerca de 96,9 Ton  $CO_2$  eq que não são enviadas para a atmosfera, minimizando-se o impacto ambiental.

#### 4.6. VIABILIDADE DO ESTUDO

Nesta secção será analisada no global a poupança obtida com a substituição da situação atual instalada por outra de tecnologia LED, analisada ao longo desta investigação. Para calcular o consumo de energia multiplicou-se a potência total instalada pelo número de horas de utilização diária, consideradas nos cenários de cálculo.

Na investigação o perfil de utilização da iluminação do hangar Norte, do hangar Sul, da SAS e da pista foi de cinco horas diárias, ou seja, 35 horas semanais e 1820 horas. Para se ter uma noção da evolução dos consumos, dos custos e das emissões de  $CO_2$  para a atmosfera, vamos aumentar uma hora diária a cada sistema e verificar a sua evolução. Na Tabela 49 está representado o hangar Norte, na Tabela 50 o hangar Sul, na Tabela 51 a SAS e na Tabela 52 a pista, nas condições de utilização das instalações de 35 horas semanais, bem como os novos cenário em que se incrementam mais horas à utilização das instalações, até ao limite de 70 horas semanais.

**Tabela 49 – Consumo no hangar Norte [17].**

	Nº Horas Ligada Anual	1 820	2 184	2 548	2 912	3 276	3 640
	Nº Horas Ligada semana	35	42	49	56	63	70
Sistema Atual	Potência total (W)	64 620					
	Consumo Anual (KWh)	117 608	141 130	164 652	188 173	211 695	235 217
	Custo Anual(€)	9 997	11 996	13 995	15 995	17 994	19 993
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	55,3	66,3	77,4	88,4	99,5	110,6
Sistema LED	Potência total (W)	24 368					
	Consumo Anual (KWh)	44 350	53 220	62 090	70 960	79 830	88 700
	Custo Anual(€)	3 770	4 524	5 278	6 032	6 786	7 539
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	20,8	25,0	29,2	33,4	37,5	41,7
Sistema LED Philips	Potência total (W)	23 357					
	Consumo Anual (KWh)	42 510	51 012	59 514	68 016	76 518	85 019
	Custo Anual(€)	3 613	4 336	5 059	5 781	6 504	7 227
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	20,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0



**Tabela 50 - Consumo no hangar Sul [17].**

	Nº Horas Ligada Anual	1 820	2 184	2 548	2 912	3 276	3 640
	Nº Horas Ligada semana	35	42	49	56	63	70
Sistema Atual	Potência total (W)	43 854					
	Consumo Anual (KWh)	79 814	95 777	111 740	127 703	143 666	159 629
	Custo Anual(€)	6 784	8 141	9 498	10 855	12 212	13 568
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	37,5	45,0	52,5	60,0	67,5	75,0
Sistema LED	Potência total (W)	18 595					
	Consumo Anual (KWh)	33 843	40 611	47 380	54 149	60 917	67 686
	Custo Anual(€)	2 877	3 452	4 027	4 603	5 178	5 753
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	15,9	19,1	22,3	25,4	28,6	31,8
Sistema LED Philips	Potência total (W)	16 854					
	Consumo Anual (KWh)	30 674	36 809	42 944	49 079	55 214	61 349
	Custo Anual(€)	2 607	3 129	3 650	4 172	4 693	5 215
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	14,4	17,3	20,2	23,1	26,0	28,8

**Tabela 51 - Consumo na SAS [17].**

	Nº Horas Ligada Anual	1 820	2 184	2 548	2 912	3 276	3 640
	Nº Horas Ligada semana	35	42	49	56	63	70
Sistema Atual	Potência total (W)	1 370					
	Consumo Anual (kWh)	2 493	2 992	3 491	3 989	4 488	4 987
	Custo Anual(€)	199	239	279	319	359	399
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3
Sistema LED	Potência total (W)	336					
	Consumo Anual (kWh)	612	734	856	978	1 101	1 223
	Custo Anual(€)	49	59	68	78	88	98
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
Sistema LED Philips	Potência total (W)	432					
	Consumo Anual (kWh)	786	943	1 101	1 258	1 415	1 572
	Custo Anual(€)	63	75	88	101	113	126
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7

**Tabela 52 - Consumo da pista [17].**

	Nº Horas Ligada Anual	1 820	2 184	2 548	2 912	3 276	3 640
	Nº Horas Ligada semana	35	42	49	56	63	70
Sistema Atual	Potência total (W)	146 725					
	Consumo Anual (kWh)	267 040	320 447	373 855	427 263	480 671	534 079
	Custo Anual(€)	21 363	25 636	29 908	34 181	38 454	42 726
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	125,5	150,6	175,7	200,8	225,9	251,0
Sistema LED	Potência total (W)	33 408					
	Consumo Anual (kWh)	60 803	72 963	85 124	97 284	109 445	121 605
	Custo Anual(€)	4 864	5 837	6 810	7 783	8 756	9 728
	CO2 enviado Atmosfera (Ton CO2 eq)	28,6	34,3	40,0	45,7	51,4	57,2

Nas tabelas anteriores estão mencionados os resultados referentes à potência total, ao consumo de energia anual, ao custo anual e às emissões de  $CO_2$  libertadas para a atmosfera. Esses valores estão todos agregados para cada sistema.

#### 4.6.1. ANÁLISE DO HANGAR NORTE, HANGAR SUL, SAS E PISTA

A implementação do sistema LED nos casos de estudo prevê uma redução de consumo de 125 946 kWh/ano nos hangares ao utilizar o sistema LED Philips e de 206 237 kWh/ano para a pista (valores observados da Tabela 53 em que subtraímos 199 916 a 73 970 que é igual a 125 946 kWh/ano. Por sua vez para a pista o raciocínio é o mesmo, em que, 267 040 menos 60 803 é igual a 206 237 kWh/ano)

Estes valores representariam uma redução de 71,1% para os dois casos e, referem-se a uma utilização de trinta e cinco horas semanais, ou seja, 1 820 horas anuais. Projetou-se uma utilização semanal da iluminação de trinta e cinco a setenta horas semanais.

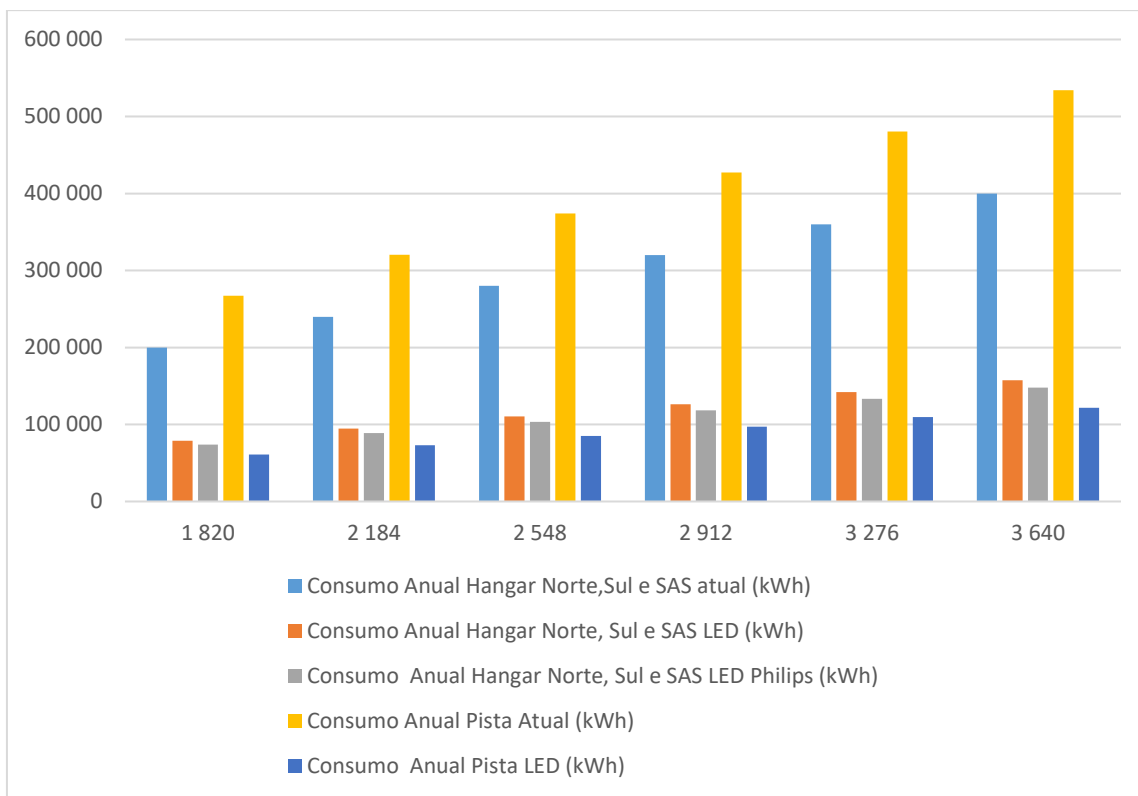
Assim, estima-se que ao utilizar setenta horas semanais a iluminação, ou seja, 3 640 horas anuais, o consumo seja de 147 941 kWh/ano em vez de 399 832 kWh/ano ao utilizar o sistema LED Philips e de 121 605 kWh/ano em vez de 534 079 kWh/ano para a pista.

O que representa uma redução de 664 366 kWh/ano no global. Estes pressupostos que serviram de base a estas conclusões encontram-se esquematizados na Tabela 53.

**Tabela 53 – Comparação consumo total em kWh [17].**

Horas Semana	Horas Anuais	Consumo Anual Hangar Norte, Sul e SAS atual (kWh)	Consumo Anual Hangar Norte, Sul e SAS LED (kWh)	Consumo Anual Hangar Norte, Sul e SAS LED Philips (kWh)	Consumo Anual Pista Atual (kWh)	Consumo Anual Pista LED (kWh)
35	1 820	199 916	78 804	73 970	267 040	60 803
42	2 184	239 899	94 565	88 764	320 447	72 963
49	2 548	279 883	110 326	103 558	373 855	85 124
56	2 912	319 866	126 087	118 352	427 263	97 284
63	3 276	359 849	141 848	133 146	480 671	109 445
70	3 640	399 832	157 608	147 941	534 079	121 605

A representação gráfica do consumo de energia de todos os casos estudados ao longo desta investigação apresenta-se na Figura 37.



**Figura 37 – Gráfico do consumo total em kWh [17].**

Relativamente ao nível de poupança com o consumo de energia prevê-se uma redução de 10076 €/ano nos hangares e SAS ao utilizar o sistema LED Philips e de 16 499 €/ano para a pista, sendo que estes valores referem-se a uma utilização de 35 horas semanais, ou seja, 1 820 horas anuais.

Projetou-se uma utilização semanal da iluminação de 35 a 70 horas semanais conforme já se referiu.

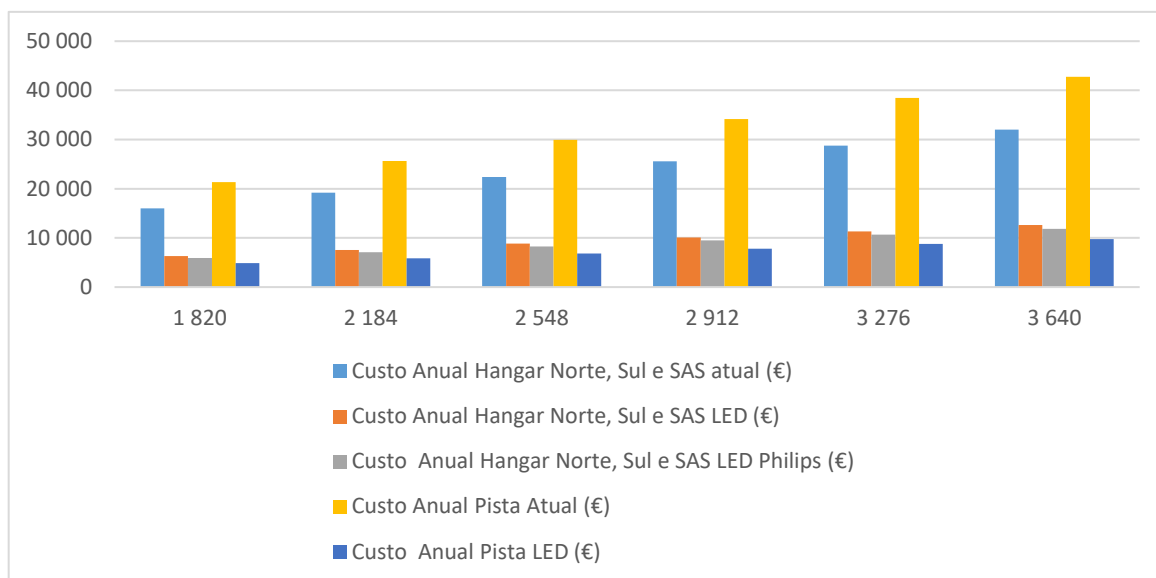
Assim, estima-se que ao utilizar 70 horas semanais a instalação de iluminação, ou seja, 3 640 horas anuais, o custo seja de 11 835 €/ano, em vez de 31 978 €/ano nos hangares e na SAS ao utilizar o sistema LED Philips e de 9 728 €/ano, em vez de 42 726 €/ano para a pista. O que representa uma redução de 53 149 €/ano no global.

Estes pressupostos que serviram de base a estas conclusões encontram-se esquematizados na Tabela 54.

**Tabela 54 – Comparação dos custos totais [17].**

Horas Semana	Horas Anuais	Custo Anual Hangar Norte, Sul e SAS atual (€)	Custo Anual Hangar Norte, Sul e SAS LED (€)	Custo Anual Hangar Norte, Sul e SAS LED Philips (€)	Custo Anual Pista Atual (€)	Custo Anual Pista LED (€)
35	1 820	15 993	6 304	5 918	21 363	4 864
42	2 184	19 192	7 565	7 101	25 636	5 837
49	2 548	22 391	8 826	8 285	29 908	6 810
56	2 912	25 589	10 087	9 468	34 181	7 783
63	3 276	28 788	11 348	10 652	38 454	8 756
70	3 640	31 987	12 609	11 835	42 726	9 728

A representação gráfica dos custos, em Euros, referentes à energia de todos os casos estudados ao longo desta investigação estão apresentados na Figura 38.



**Figura 38 - Gráfico do custo total em Euros [17].**

Relativamente à emissão de  $CO_2$  enviado para a atmosfera, prevê-se uma redução de 59,2 Ton  $CO_2$  eq/ano nos hangares e na SAS, ao utilizar o sistema LED Philips e de 96.9 Ton  $CO_2$  eq/ano para a pista. Estes valores referem-se a uma utilização de 35 horas semanais, ou seja, 1 820 horas anuais.

Projetou-se uma utilização semanal da iluminação de 35 a 70 horas semanais conforme já se referiu.

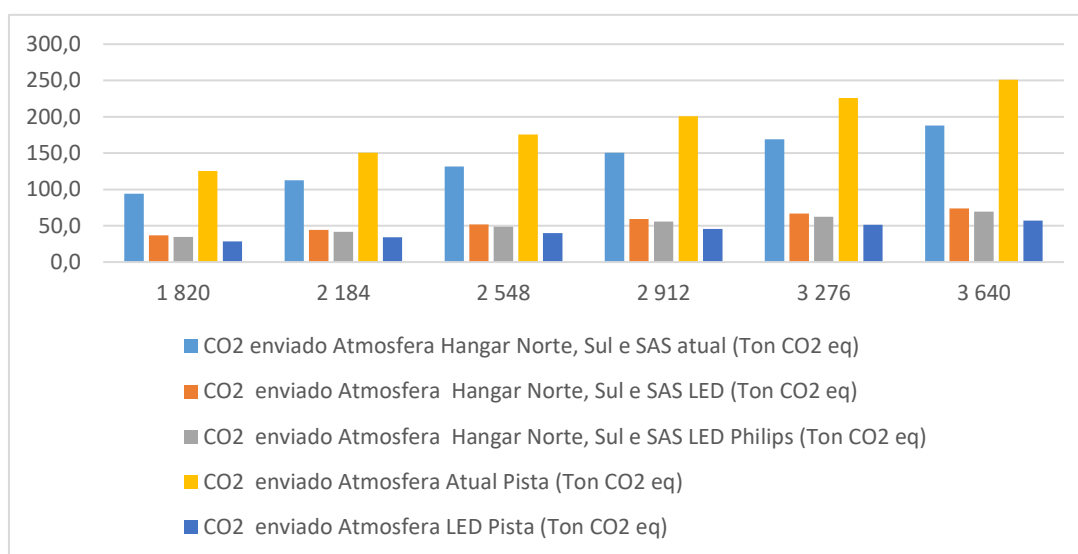
Assim, estima-se que ao utilizar 70 horas semanais a iluminação, ou seja, 3 640 horas anuais, a emissão de  $CO_2$  enviado para a atmosfera seja 69,5 Ton  $CO_2$  eq/ano em vez de 187,9 Ton  $CO_2$  eq/ano nos hangares e na SAS ao utilizar o sistema LED Philips e de 57,2 Ton  $CO_2$  eq/ano em vez de 251 Ton  $CO_2$  eq/ano para a pista.

A situação acima descrita representa uma redução de 312,3 Ton  $CO_2$  eq/ano de emissões que não é enviado para a atmosfera. Estes pressupostos que serviram de base a estas conclusões encontram-se esquematizados na Tabela 55.

**Tabela 55 – Comparação de emissão de  $CO_2$  para a atmosfera total [17].**

Horas Semana	Horas Anuais	CO2 enviado Atmosfera Hangar Norte, Sul e SAS atual (Ton $CO_2$ eq)	CO2 enviado Atmosfera Hangar Norte, Sul e SAS LED (Ton $CO_2$ eq)	CO2 enviado Atmosfera Hangar Norte, Sul e SAS LED Philips (Ton $CO_2$ eq)	CO2 enviado Atmosfera Atual Pista (Ton $CO_2$ eq)	CO2 enviado Atmosfera LED Pista (Ton $CO_2$ eq)
35	1 820	94,0	37,0	34,8	125,5	28,6
42	2 184	112,8	44,4	41,7	150,6	34,3
49	2 548	131,5	51,9	48,7	175,7	40,0
56	2 912	150,3	59,3	55,6	200,8	45,7
63	3 276	169,1	66,7	62,6	225,9	51,4
70	3 640	187,9	74,1	69,5	251,0	57,2

A representação gráfica das emissões de  $CO_2$  enviadas para atmosfera referentes a todos os casos estudados ao longo desta investigação estão apresentadas na Figura 39.



**Figura 39 - Gráfico do consumo total em Ton  $CO_2$  eq [17].**

A redução do impacto ambiental é um aspeto a ter em consideração.

Se existir um baixo consumo de energia também vai haver uma redução das emissões de  $CO_2$  para atmosfera. Ao se realizar a substituição da iluminação da pista para a tecnologia LED, a manutenção vai diminuir, o que provoca indiretamente menos consumo de combustíveis, devido à diminuição das deslocações à pista para realizar as ações de manutenção às luminárias [46].

#### **4.7. INDICADORES DA AVALIAÇÃO ECONÓMICA**

Posteriormente à determinação dos equipamentos a instalar é imprescindível a elaboração de um estudo de viabilidade económica. As conclusões que advêm da avaliação económica podem influenciar positivamente ou negativamente à realização do projeto.

Na análise de viabilidade económica e de apoio à decisão de um projeto de investimento calculam-se três indicadores:

- Valor atual líquido (VAL)
- Taxa interna de rentabilidade (TIR)
- Retorno do investimento

##### **4.7.1. VALOR ATUAL LÍQUIDO (VAL)**

O valor atual líquido (VAL) é um valor atualizado de todos os custos inerentes a um determinado projeto de investimento para um momento comum, ao longo do prazo de vida útil do projeto. A fórmula utilizada para calcular o VAL foi a seguinte:

$$VAL = -I + (R - C) * \left( \frac{(1+a)^n - 1}{a(1+a)^n} \right) \quad (1)$$

Em que:

- $n$  – Número de anos de vida do projeto;
- $a$  – Taxa de atualização do capital;
- $R$  – Valor receitas anuais durante o tempo de vida do projeto;

- I – Valor do capital investido;
- C – Valor com os encargos durante o tempo de vida do projeto [53].

#### 4.7.2. TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR)

A taxa interna de rentabilidade (TIR) corresponde à taxa de rendimento do projeto de investimento. A fórmula utilizada para calcular a TIR foi a seguinte:

$$0 = -I + (R - C) * \left( \frac{(1+TIR)^n - 1}{TIR * (1+TIR)^n} \right) \quad (2)$$

#### 4.7.3. RETORNO DO INVESTIMENTO

O Retorno do Investimento corresponde ao tempo necessário para que a empresa recupere o capital investido.

A fórmula utilizada para calcular o retorno do investimento foi a seguinte:

$$Retorno\ do\ Investimento = \frac{I}{(R-C)} \quad (3)$$

### 4.8. CÁLCULO DO VAL, TIR E RETORNO DO INVESTIMENTO

O investimento para a realização deste projeto para cada cenário está descrito na Tabela 56. Foi considerado um tempo de vida útil das luminárias LED e das LED Philips de 50 000 horas de funcionamento, o que obriga a prever a substituição das luminárias de 27 em 27 anos aproximadamente, para uma utilização de 1820 horas anuais.

**Tabela 56 – Investimento do projeto de cada cenário [17].**

	Hangar Norte		Hangar Sul		SAS	
	LED	LED PHILIPS	LED	LED PHILIPS	LED	LED PHILIPS
Custo do investimento (€)	53 176	57 539	42 212	46 518	1 417	1 520
Retorno do investimento (Anos)	8,5	9	10,8	11,1	8,9	10,5
Poupança anual total (€)	6 227	6 383	3 908	4 177	160	145
Taxa de atualização	3%					
Nº horas anuais	1 820 h					
Nº anos de vida projeto	27 anos					

Assim, recorrendo à informação adquirida na Tabela 56 e utilizando as fórmulas 1, 2 e 3, calculamos os indicadores económicos para cada cenário.

Nesta mesma tabela estão descritos os valores do investimento inicial de cada cenário, sendo que a taxa de atualização utilizada na simulação de cada cenário foi de 3%. O custo com os encargos durante o tempo de vida útil do projeto é um valor insignificante para o cálculo porque se resume a possíveis limpezas das luminárias e esse trabalho é efetuado por pessoal interno.

Na Tabela 57 é apresentado um resumo dos indicadores de avaliação económica.

**Tabela 57 - Indicadores de avaliação económica [17].**

Indicadores de avaliação económica	Hangar Norte		Hangar Sul		SAS	
	LED	LED PHILIPS	LED	LED PHILIPS	LED	LED PHILIPS
Retorno do investimento (Anos)	8,5	9,0	10,8	11,1	8,9	10,5
VAL (€)	60 946	59 442	29 410	30 034	1 515	1 137
TIR (%)	11	10	8	8	11	9

Pela análise da Tabela 57 pode-se concluir que o investimento é economicamente viável, tanto com a substituição pelo sistema LED como pelo sistema LED Philips, pois apresenta um retorno do investimento menor que o período de exploração, um VAL positivo e um TIR superior à taxa de atualização.

Ao analisar o hangar Norte para a situação LED pode-se concluir que tem um retorno do investimento reduzido de 8,5 anos, ou seja, os capitais investidos são recuperados aproximadamente a 1/3 do tempo útil do projeto.

Com um VAL de 60 946 €, significa que no tempo de vida útil do projeto (27 anos) o retorno do investimento além de se ter recuperado ainda gerou uma receita superior ao valor inicial e a TIR apresenta uma taxa de atualização de 11% o que é superior à taxa de atualização de 3% utilizada para os cálculos. Para os restantes cenários também é economicamente viável.



Não se realizou o estudo de viabilidade económica da pista por não terem sido obtidos orçamentos do material em tempo útil.

## 5. CONCLUSÃO

A presente investigação de mestrado assumiu como objetivo o estudo no âmbito da iluminação de infraestrutura aeronáutica no Aeródromo de Manobra Nº1.

Foi realizado uma análise técnica em conformidade com os requisitos na norma EN 12464-1 para o hangar Norte, hangar Sul, Secção de Assistência e Socorro (SAS) e, no que respeita à pista do aeródromo, foi realizada uma revisão da literatura no âmbito da tecnologia da iluminação a infraestruturas aeronáuticas e uma análise técnica conforme os regulamentos em vigor.

A estratégia passou por identificar todos os equipamentos de iluminação que se encontram instalados nos hangares, SAS e pista do aeródromo. Foi realizado um estudo luminotécnico após a pesquisa das luminárias retratadas ao longo da investigação.

A metodologia aplicada, permitiu a simulação no software DIALux toda a iluminação referente aos hangares e SAS antes de se implementar as luminárias LED. Deste modo pode-se calcular os custos inerentes à substituição das luminárias LED, os consumos energéticos e a libertação de  $CO_2$  para a atmosfera.

Tomou-se como referência 35 horas semanais para os cálculos de energia dos vários sistemas de iluminação.

Pode-se constatar que o consumo de energia total do hangar Norte, hangar Sul e SAS e pista do aeródromo ostentam um consumo de energia aproximadamente de 466 956 kWh/ano, o que representa um custo de 37 356 €/ano e de 219,5 Ton  $CO_2$  eq. de emissão de  $CO_2$  enviado para a atmosfera com a tecnologia instalada no aeródromo.

A substituição dos equipamentos pela solução LED retratada apresenta 134 773 kWh/ano de consumo de energia elétrica, despesa de 10 782 €/ano e 63,3 Ton  $CO_2$  eq enviadas para a atmosfera. Assim estima-se que a substituição da iluminação LED tenha uma redução de 71,1% face ao sistema atual.

Podemos concluir que o projeto apresenta um retorno de investimento de 8,5 a 11,1 anos, com um valor atual líquido de 29 410 a 60 946 € e uma taxa interna de rentabilidade de 8 a 11%.

A análise financeira para a pista aeronáutica não foi realizada em virtude de não se ter obtido orçamentos das luminárias em tempo útil.

O estudo permitiu constatar que a iluminação LED tem muitas vantagens em relação à iluminação tradicional. Como o LED não é nocivo para o meio ambiente, torna-se numa forte alternativa para atenuar a poluição e as emissões de GEE para a atmosfera.

Com o desenvolvimento da tecnologia LED, os preços vão diminuir o que faz com que seja muito viável a substituição da iluminação convencional por iluminação LED.

Os conhecimentos gerados nesta investigação podem contribuir para trabalhos futuros. A utilização da metodologia aplicada ao longo do estudo não é nova, sendo que o que torna esta investigação inovadora é a utilização da metodologia aplicada em infraestruturas aeronáuticas, pois estas instalações têm requisitos específicos.

A utilização do software DIALux, não é novidade, mas o que torna esta temática interessante é a sua utilização no estudo dos hangares com a tecnologia mais atual e inovadora em termos de luminárias LED.

Por último, foram abordados os avanços da tecnologia em termos de infraestruturas aeronáuticas e uma atualização do estado de arte.

A realização desta investigação permitiu reforçar a ideia de que se deve intervir na substituição da iluminação na AM1 por forma a aumentar a eficiência energética e diminuir o consumo com os encargos energéticos.

Este trabalho pode vir a ser usado pela Força Aérea para poder concorrer a programas de apoio a financiamento para melhoria da eficiência energética.

## **5.1. LIMITAÇÕES E MELHORIAS**

As limitações encontradas durante a pesquisa foram as seguintes:

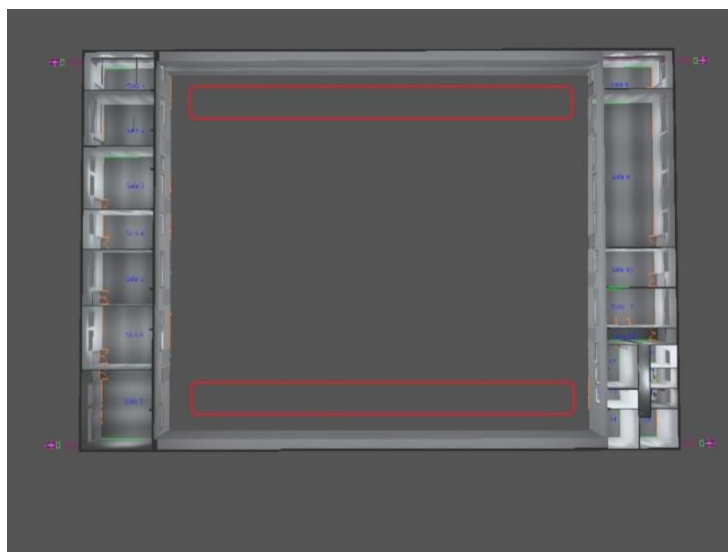
- As especificações técnicas das luminárias não são fornecidas por todos os fornecedores, o que torna o estudo mais limitado face à escolha das luminárias. Foi selecionada a marca Philips para as luminárias, pois esta marca fornece o ficheiro com a extensão “IES”, o que facilita o uso dos equipamentos no software DIALux;

- Os orçamentos pedidos a vários fornecedores de iluminação aeronáutica ainda não foram enviados, pelo que não foi possível realizar a análise financeira da iluminação da pista aeronáutica em tempo útil;
- A literatura disponível é limitada em relação à tecnologia de iluminação para infraestruturas aeronáuticas.

De forma a aumentar o desempenho energético no hangar Norte e hangar Sul foram identificados locais para racionalizar ainda mais energia.

De acordo com os espaços a iluminar e respeitando a norma EN12464-1 [5] podem ser instalados nos hangares Norte e Sul os seguintes equipamentos [52]:

- Sensores de deteção de movimento - podem ser inseridos nas instalações sanitárias, pois são dispositivos que quando detetam movimento acendem a luz automaticamente;
- Células fotoelétricas – instaladas nos corredores do hangar;
- Regulação da intensidade luminosa em função da luz natural – tanto no hangar Norte como no Hangar Sul deve-se colocar estes sensores de modo a controlar a iluminação junto aos portões. A Figura 40 exemplifica quais os circuitos de iluminação a serem controlados. A identificação está delimitada a vermelho.



**Figura 40 – Hangar Sul exemplo [17].**

## **5.2. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

A análise feita nesta investigação possibilitou conhecer melhor as instalações do AM1. Este estudo poderá servir de base para estudos futuros sobre o dimensionamento luminotécnico nas restantes bases da Força Aérea, bem como de aeroportos civis.

Outros aspetos que se devem ter em consideração serão a potência instalada em iluminação LED e potência reativa que a mesma gera.

Assim, para trabalho futuro recomendo a investigação sobre os efeitos da potência reativa, resultante da iluminação LED, nas instalações do Aeródromo de Manobra Nº1.

## *Referências Documentais*

- [1] DGEG, “Energia em Portugal,” 2017.
- [2] “7 ações contra o aquecimento global - Comunidade EDP.” [Online]. Available: [https://comunidade.edp.pt/a-acontecer/552/7-aco-es-contr-a-o-aquecimento-global?utm\\_medium=email&utm\\_source=nlc\\_porto&utm\\_campaign=nlc\\_20180405&utm\\_content=](https://comunidade.edp.pt/a-acontecer/552/7-aco-es-contr-a-o-aquecimento-global?utm_medium=email&utm_source=nlc_porto&utm_campaign=nlc_20180405&utm_content=). [Accessed: 09-Apr-2018].
- [3] Comissão Europeia, “Plano Europeu de Eficiência Energética,” no. COM(2011) 109 final, p. VP, 2011.
- [4] Iberdrola, “Guia de Eficiência Energética,” pp. 1–29, 2014.
- [5] Etap, “Dossier EN 12464-1,” no. june, p. 12, 2012.
- [6] “Energia - ADENE.” [Online]. Available: <https://www.adene.pt/energia/>. [Accessed: 13-Mar-2018].
- [7] “APA - Instrumentos &gt; Avaliação de Impacte Ambiental &gt; Definição de Âmbito.” [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=146&sub2ref=959>. [Accessed: 08-Dec-2017].
- [8] “Portal ERSE - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica.” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/Paginas/default.aspx>. [Accessed: 13-Mar-2018].
- [9] Meid, “Decreto-Lei n.º 29/2011, de 28 de fevereiro,” vol. 2020, no. Ene 2020, pp. 1209–1216, 2011.
- [10] J. M. L. Magalhães, L. F. C. Castanheira, R. F. M. Brandão, and E. S. D. E. C. Práticos, “E . e .,” pp. 49–55, 2014.
- [11] R. Portuguesa, “Diário da República,” pp. 1573–1589, 2015.

- [12] “ConvencaoChicagoVerOriginal.pdf.” .
- [13] International Civil Aviation Organization, “About ICAO.” [Online]. Available: <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>. [Accessed: 24-Jun-2018].
- [14] International Civil Aviation Organisation, “Aerodromes, Annex 14, Volume I, Aerodrome Design and Operations,” vol. I, no. July, pp. 1–36, 2004.
- [15] I. C. A. O.- ICAO, “ICAO 9137 Airport Services Manual - Part 9 - Airport Maintenance Practices,” *Airpt. Serv. Man.*, vol. Part 9, no. 1, p. 56, 1984.
- [16] L. Azevedo, “Imagem das instalações de Aviação do Aeródromo de Manobra Nº 1.” 2018.
- [17] L. Azevedo, “Fonte: O autor da investigação.” 2018.
- [18] C. A. Coutinho, “GLOSSÁRIO I – APRESENTAÇÃO.”
- [19] K. Street, N. W. Suite, and W. Dc, “Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications Department of Energy Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications,” no. September, pp. 1–12, 2008.
- [20] T. R. Kadu and P. A. P. Thakre, “A Review on Implementation of Effective Airport Lighting System Using FPGA,” pp. 1872–1877, 2016.
- [21] A. C. De Faria, M. Antonio, B. Frauzino, and R. Camilo, “CONTRIBUIÇÕES DO USO DO LED PARA O MEIO AMBIENTE E BEM ESTAR DO,” pp. 1–4, 2014.
- [22] T. C. Wanderley, “A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos LEDs,” vol. 1, 2014.
- [23] A. Methods, “Advisory Circular,” no. 254 mm, pp. 7–8, 1976.
- [24] K. Johnson *et al.*, *REPORT 148 LED Airfield Lighting System Operation and Maintenance.* .
- [25] L. Marsh, T. Lead, I. Richmond, and N. Faculty, “Light Emitting Diodes : An

- Efficient Choice for Airfield Lighting,” no. April, 2008.
- [26] B. M. Mazzotti, G. Facchini, and O. A. Technology, “LEaD-ING THE CURRENT : THE ROAD TO SUSTAINABLE AGL.”
- [27] República Portuguesa, “Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE,” *Resumo da Política Nac. Energias Renov.*, no. iii, pp. 6394–6397, 2010.
- [28] Av and Presidente, “PROCEL EDIFICA -Eficiência Energética em Edificações,” pp. 409–13.
- [29] “catalogo\_prilux.”
- [30] E. Carlos Patrão and E. Pedro Carreira -Direção de Tecnologia Inovação, “8h20– O novo Anexo I – E Agora? 18h40 – O Novo Guia de IP 19h00 – A Inovação na IP.”
- [31] N. Brasil, “Iluminação : Conceitos e Projetos Índice,” 1955.
- [32] “Conteúdo do Curso Introdução. Conceito de Eficiência Energética. - ppt carregar.” [Online]. Available: <http://slideplayer.com.br/slide/7300843/#>. [Accessed: 11-Apr-2018].
- [33] “Como funciona uma lâmpada incandescente? - Mundo da Elétrica.” [Online]. Available: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-uma-lampada-incandescente/>. [Accessed: 11-Apr-2018].
- [34] E. D. E. Constru and E. S. Usuais, “Tabela De,” pp. 88–89.
- [35] J. M. NOVICKY and R. MARTINEZ, “Leds Para Iluminação Pública,” *Curso Eng. Elétrica – Univ. Fed. do Paraná Curitiba – Paraná - Bras.*, pp. 1–9, 2008.
- [36] IPCC, *Summary for Policymakers*. 2014.
- [37] DRE, “Despacho 17313,” *02.05.10\_SistemasMotrizes*, pp. 27–28, 2008.
- [38] Jornal Oficial da União Europeia, “Regulamento (ue) n. 1357/2014,” vol. 2014, no. 4, pp. 2014–2017, 2014.



- [39] A. C. C. Ribeiro, H. C. P. Rosa, J. D. da S. Correa, and A. V. da Silva, “O emprego da tecnologia led na iluminação pública,” pp. 1–4, 2012.
- [40] “Aeródromo de Manobra Nº 1 | Força Aérea Portuguesa.” [Online]. Available: <http://www.emfa.pt/www/unidade-22-aerodromo-de-manobra-n-1>. [Accessed: 19-Feb-2018].
- [41] ICAO, *Doc 9157 - Aerodrome Design Manual Part 6: Frangibility*. 2006.
- [42] A. E. Division, “Advisory Circular,” no. Appendix 2, pp. 1–28, 1988.
- [43] F. Aviation and A. E. Division, “Advisory Circular,” 2010.
- [44] M. Benefits, “PAPI LED Precision Approach Path Indicator Metalite Visit our web site : [www.flightlight.com](http://www.flightlight.com) PAPI LED Precision Approach Path Indicator Metalite Visit our web site : [www.flightlight.com](http://www.flightlight.com),” no. 916, pp. 1–2, 2016.
- [45] A. Lighting, “PAPI-L PAPI-L,” pp. 1–4, 2004.
- [46] W. Leds and A. G. Lighting, “Leading the way to more cost effective , efficient and environment-friendly airfields.”
- [47] L. E. D. E. Approach, T. W. Bar, and E. N. D. Light, “Led elevated approach, threshold, threshold wing bar and runway end light, lere,” pp. 2–5.
- [48] L. E. D. Elevated and T. Edge, “Led elevated taxiway edge light.”
- [49] L. E. D. I. Threshold and E. N. D. Light, “LED INSET THRESHOLD / END LIGHT,” pp. 2–5.
- [50] L. E. D. E. Approach, T. W. Bar, and E. N. D. Light, “Led elevated approach, threshold, threshold wing bar and runway end light, lera,” pp. 2–5.
- [51] S. Energy, “Using Airfield LED Lighting to Save Energy and Costs,” 2016.
- [52] Iberdrola, “Manual de Boas Práticas Energéticas,” *Iberdrola*, pp. 1–94, 2012.
- [53] T. A. Nogueira, “Produção Distribuída no SEN : Análise Económica e Impacto Temas Abordados,” 2016.



## Anexos A – Material consultado para a pista



# ITT

## SERIES ISOLATION TRANSFORMERS



### COMPLIANCES

FAA: AC150/5345-47  
IEC: 61823  
ICAO: Aerodrome Design Manual - Part 5

### APPLICATIONS

Isolation transformers are used in series airfield lighting circuits to electrically isolate the lighting fixtures from the medium voltage usually present and to ensure circuit continuity in the event of lamp failures too. The transformers are totally encapsulated in waterproof synthetic rubber compound for maximum resistance to contaminants, ultraviolet radiation and ozone, with a minimum of water absorption. When applied with proper connections, they are suitable for direct burial in the soil.

### FEATURES

- ETL certified according to FAA AC 150/5345-47 Specs
- IEC approved according to IEC 61823 Specs
- Totally thermoplastic rubber encapsulated
- Two primary leads with single-pole plug style 2 and receptacle style 9.
- One secondary lead with two-pole receptacle, style 8. On request, the secondary receptacle can be style 7; in this case the transformers cannot be certified FAA.
- Suitable for 50 or 60 cycle applications.
- If required, any transformer size can be supplied for secondary grounding.

**OCEM**, a division of Energy Technology srl  
Via della Solidarietà 2/1  
40056 Valsamoggia (Bologna) - Italy  
Ph: +39 051 66 56 611 – [www.ocem.com](http://www.ocem.com)

 **OCEM**  
AirfieldTechnology



# LERA

## LED ELEVATED APPROACH, THRESHOLD, THRESHOLD WING BAR AND RUNWAY END LIGHT



### COMPLIANCES

ICAO: Annex 14 - Volume I Fig. A2-1, A2-2, A2-3, A2-4, A2-8  
 FAA: L-8625 AC150/5345-46  
 IEC: TS 61827  
 NATO: STANAG 3316  
 CAA: CAP 168  
 IAAE: TP312

### APPLICATIONS

Approach, Threshold, Threshold Wing Bar and Runway End for ICAO CAT I, II and III and military runways  
 Used for Stop Bar lighting on ICAO/FAA taxiways

### BENEFITS

- 60000 hours LED rated life at full intensity, but over 100000 hours in field operating conditions
- In new installation, LED lights mean lower loads, lower size of CCRs and transformers, thus low life cycle costs
- The light output is variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Colour emitted directly by LEDs: absence of coloured filters ensures no energy losses and no colour shifts
- Fully compatible with existing AFL infrastructure\*
- Designed with simplicity allowing longer maintenance intervals and fewer spare parts
- Transparent front protection mechanically fastened to the body by means of a suitable frame with silicone gasket, making its replacement quick and easy
- No optical adjustment after LED module or lens array replacement
- Operating with any topology of CCRs designed in compliance with IEC or FAA requirements

\* For monitored fixtures, isolation transformer max size: 150VA

### PERFORMANCES

- The electronic is strong-built and highly resistant to shock and vibration
- Automatic adaptation to the frequency of the supply current
- A surge protection device is provided in the electronics as required by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Immediate detection of an internal fault
- Lightweight and sturdy due to aluminium die-castings
- Powder coating surface finishing to provide good corrosion resistance
- Body balanced on a special support for proper and accurate horizontal and vertical aiming
- High jet blast resistance due to the small size of the Threshold and Runway End fixture, 310 mm high
- Protection degree: IP67
- Temperature range: -55°C to +55°C

### INSTALLATION

- The fixture can be installed on pipe elbow or baseplate
- Specific tools available for easy and precise installation

**EnergyTechnology**  
 Via della Solidarietà, 2/1  
 40056 Valsamoggia Loc. Crespellano - Bologna (Italy)  
 Tel: +39 051 66 56 611 - Fax: +39 051 66 56 677

**OCEM**<sup>®</sup>  
 AirfieldTechnology



# LERE

## LED ELEVATED RUNWAY EDGE AND THRESHOLD/END LIGHT



### COMPLIANCES

ICAO: Annex 14 - Volume I Fig. A2-3, A2-8, A2-9, A2-10  
FAA: L-862-E(L) AC150/5345-46 and EB No.67  
IEC: TS 61827  
NATO: STANAG 3316  
CAA: CAP 168  
IAAE: TP312

### APPLICATIONS

Runway edge and threshold/end for ICAO CAT I, II and III, FAA and military runways

### BENEFITS

- 60000 hours LED rated life at full intensity, but over 100000 hours in field operating conditions
- In new installation, LED lights mean lower loads, lower size of CCRs and transformers, thus low life cycle costs
- The light output is variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Colour emitted directly by LEDs: absence of coloured filters ensures no energy losses and no colour shifts
- Fully compatible with existing AFL infrastructure\*
- Designed with simplicity allowing longer maintenance intervals and fewer spare parts
- Customized gasket for glass cover to avoid the use of sealing
- No optical adjustment after LED module or lens array replacement
- Operating with any topology of CCRs designed in compliance with IEC or FAA requirements

\* For monitored fixtures, isolation transformer max size: 150VA

### PERFORMANCES

- The electronic is strong-built and highly resistant to shock and vibration
- Automatic adaptation to the frequency of the supply current
- A surge protection device is provided in the electronics as required by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Immediate detection of an internal fault
- Lightweight and sturdy due to aluminium die-castings
- Powder coating surface finishing to provide good corrosion resistance
- Body balanced on the slipfitter for proper levelling by means of four external screws
- High jet blast resistance due to the small size of the fixture, 320 mm high
- Protection degree: IP67
- Temperature range: -55°C to +55°C

### INSTALLATION

- The fixture can be installed on pipe elbow or baseplate
- Specific tools available for easy and precise installation

**EnergyTechnology**  
Via della Solidarietà, 2/1  
40056 Valsamoggia Loc. Crespellano – Bologna (Italy)  
Tel: +39 051 66 56 611 - Fax: +39 051 66 56 677

**OCEM**  
AirfieldTechnology





# LETE

## LED ELEVATED TAXIWAY EDGE LIGHT



### COMPLIANCES

ICAO: Annex 14 - Volume I par. 5.3.18.8  
 EASA: CS ADR-DSM, Book 1, par.M.720 (c) (3)  
 FAA: L-861T(L) AC150/5345-46 and EB No.67  
 IEC: TS 61827  
 NATO: STANAG 3316  
 CAA: CAP 168  
 IAAE: TP312

### APPLICATIONS

Taxiway edge for ICAO, FAA and military taxiways  
 White Omnidirectional Approach and Unserviceability lights

### BENEFITS

- 60000 hours LED rated life at full intensity, but over 100000 hours in field operating conditions
- In new installation, LED lights mean lower loads, lower size of CCRs and transformers, thus low life cycle costs
- The light output is variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Colour emitted directly by LEDs: absence of coloured lenses ensures no energy losses and no colour shifts
- Fully compatible with existing AFL infrastructure\*
- Designed with simplicity allowing longer maintenance intervals and fewer spare parts
- Customized lens gasket to avoid the use of sealing
- No optical adjustment after LED module or lens replacement
- Operating with any topology of CCRs designed in compliance with IEC or FAA requirements

\* For monitored fixtures, isolation transformer max size: 200VA

### PERFORMANCES

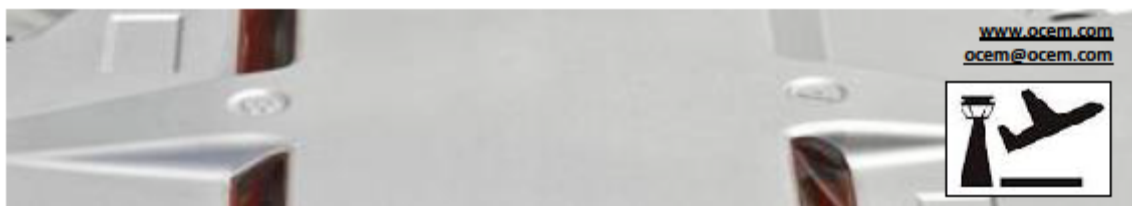
- The electronic is strong-built and highly resistant to shock and vibration
- Automatic adaptation to the frequency of the supply current
- A surge protection device is provided in the electronics as required by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Immediate detection of an internal fault
- Lightweight and sturdy due to aluminium die-castings
- Powder coating surface finishing to provide good corrosion resistance
- Body balanced on the slipfitter for proper levelling by means of three screws
- High jet blast resistance due to the small size of the fixture, 250 mm high
- Protection degree: IP67
- Temperature range: -55°C to +55°C

### INSTALLATION

- The fixture can be installed on pipe elbow or baseplate
- Specific tools available for easy and precise installation

**OCEM** a division of Energy Technology srl  
 Via della Spilargia 2/1  
 40066 Valsamoggia (Bologna) - Italy  
 Ph: +39 051 66 56 611 - [www.ocecm.com](http://www.ocecm.com)

**OCEM**<sup>®</sup>  
 AirfieldTechnology



[www.ocem.com](http://www.ocem.com)  
[ocem@ocem.com](mailto:ocem@ocem.com)



# LIRH

## LED INSET THRESHOLD/END LIGHT



### COMPLIANCES

ICAO: Annex 14 - Volume I Fig. A2-3, A2-8  
 FAA: L-850D(L) AC150/5345-46 and EB No.67  
 IEC: TS 61827  
 NATO: STANAG 3316  
 CAA: CAP 168  
 IAAE: TP312

### APPLICATIONS

Threshold/Runway End for ICAO CAT I, II and III, FAA and military runways

### BENEFITS

- 60000 hours LED rated life at full intensity, but over 100000 hours in field operating conditions
- In new installation, LED lights mean lower loads, lower size of CCRs and transformers, thus low life cycle costs
- The light output is variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Colour emitted directly by LEDs: absence of coloured filters ensures no energy losses and no colour shifts
- Fully compatible with existing AFL infrastructure\*
- Designed with simplicity allowing longer maintenance intervals and fewer spare parts
- No use of sealant to fix the prisms in the dome thanks to customized gaskets, making their replacement quick and easy
- No optical adjustment after LED module or prism replacement
- Valve for watertightness test after overhaul
- Operating with any topology of CCRs designed in compliance with IEC or FAA requirements

\* For monitored fixtures, isolation transformer max size: 200VA

### PERFORMANCES

- The electronic is strong-built and highly resistant to shock and vibration
- Automatic adaptation to the frequency of the supply current
- A surge protection device is provided in the electronics as required by the FAA "Engineering Briefing No.67"
- Immediate detection of an internal fault
- 6.35 mm protrusion strongly reduces vibrations to aircrafts and to light itself, increasing its lifetime
- Dome smooth outer profile makes the light less sensitive to snowplough blades
- Bidirectional or unidirectional, 12" dia.
- Drop-forged dome and cast aluminium lower cover make the fitting sturdy, but lightweight too for ease handling in the field
- Light output practically not affected by heavy rainfall thanks to the shallow channel in front of the prism windows
- O-Ring placed outside the dome to avoid dirt deposits between light and base
- Protection degree: IP67
- Temperature range: -55°C to +55°C

### INSTALLATION

- Suitable for 12" dia. bases
- Specific tools available for easy and precise installation

**EnergyTechnology**  
 Via della Solidarietà, 2/1  
 40056 Valsamoggia Loc. Crespellano – Bologna (Italy)  
 Tel: +39 051 66 56 611 - Fax: +39 051 66 56 677

**OCEM**  
 AirfieldTechnology



Flight Light Inc.  
2708 47th Ave.  
Sacramento, California, U.S.A.  
95822-3806

PH (916) 394-2800 FX (916) 394-2809  
TF (800) 806-3548 EM [info@flightlight.com](mailto:info@flightlight.com)

**PAPI LED  
Precision Approach  
Path Indicator  
Metalite**

**PAPI LED: Precision Approach Path Indicator**

- Unique light engine & optical system
- Radio controlled
- Digital inclinometer
- Ultra low power consumption
- Full PAPI (4 BOX) or 'A' PAPI (2 box) system
- Compact and rugged construction

**Applications**

Using the most advanced LED and optical technology available, Metalite Aviation Lighting's new PAPI LED (Precision Approach Path Indicator) provides a world leading energy efficient and versatile portable PAPI System. Metalite's unique light engine and optical system delivers unrivalled battery run times and highly efficient charging cycles, resulting in a reduced total cost of ownership and a low carbon footprint.

The compact design of the units ensures high portability to allow rapid deployment at either end of the runway. Metalite's renowned outstanding build quality also ensures a low maintenance investment for your airfield ground lighting requirements for many years to come. When used in conjunction with the CALKIT LED trailer, the PAPI LED is designed to meet the photometric requirements for ICAO Annex 14 Vol 1 and FAA-E-3007 AC ensuring compliance for your facility.

**Major Benefits**

- **Unique optical design**  
Improved light efficiency and battery running time
- **Compact, lightweight & rugged construction**  
Ensuring versatility and portability
- **'A' PAPI (2 box) or full PAPI (4 box) systems available in manual & secure radio control options**  
Provides system flexibility for various deployments



- **Powered from portable PAPI battery packs or alternative sources (generator, solar, wind or fuel cell, etc.)**  
Flexible power input options
- **Adjustable intensity settings**  
5 intensity adjustments and custom settings to meet multiple ICAO and FAA requirements
- **High capacity replaceable PAPI power control and battery pack as standard**  
Option to upgrade to ultra high capacity giving greatly extended running times per charge
- **Semi-permanent or fixed mountings**  
Semi-permanent galvanized steel frame or permanent FAA frangible mounts available

Visit our web site: [www.flightlight.com](http://www.flightlight.com)



## APPROACH LIGHTING

### PAPI-L

#### LED Precision Approach Path Indicator



#### Compliance with Standards

<b>FAA:</b>	L-880(L) & L-881(L) AC 150/5345-28 (Current Edition). ETL Certified.
<b>ICAO:</b>	Annex 14, Vol. 1, para. 5.3.5.23 to 5.3.5.45
<b>T/C:</b>	Transport Canada TP 312 par. 5.3.6.14 and Appendix B, section B.3.1.
<b>CE:</b>	Complies with the requirements of the EMC Directive 2004/108/EC

#### Uses

The PAPI system uses a single LED light channel on each light unit to provide the pilot precise visual information, enabling the approach procedure to be performed with the utmost accuracy and safety.

The FAA Type L-880 PAPI system consists of four light units located at the side of the runway adjacent to the origin of the glide path. The nominal glide slope angle is midway between the angular settings of the central pair of the four units. If an aircraft is on the correct approach path, the pilot will see two red and two white light indicators. If the aircraft approach is too high, an increased number of white light indicators will be seen. If the approach is too low, the pilot will note an increased number of red light indicators.

The FAA Type L-881 PAPI system is identical to the L-880, except only two light units (instead of four) are used. The nominal glide slope is midway between the angular settings of the two units, and when the pilot is on or close to the correct approach path, the unit nearest the runway will be seen as red and the other unit as white.

The FAA Style A system is for use with an AC voltage input. The FAA Style B system is for use on 6.6 A or 20 A series circuits. An electronic inclinometer assembly, which is a mercury-free product, is provided on each FAA PAPI unit to de-energize all light units if the optical pattern of any light unit is raised between 0.5° and 1.0° or lowered between 0.25° and 0.5° with respect to the setting angle of the light unit.

#### Features

- Use of LEDs greatly increases light source life and significantly reduces ongoing maintenance costs and periodic re-lamping expenses
- Each PAPI light unit uses a maximum of only 120 W when the heater is active.
- Depending on operating mode, light unit uses 62% to 80% less energy than traditional light units that use three 105 W lamps, two 200 W lamps or three 200 W lamps.
- Unique, sealed optical chamber designed to prevent dew/frost on LED optical elements. Also includes a digitally controlled heated outer glass that is designed to ensure that the outer glass is clear of frost/ dew within:
  - 3 minutes over a temperature range of -21 °C to +55 °C (-6 °F to +131 °F)
  - 4 minutes over a temperature range of -39 °C to -22 °C (-38 °F to -8 °F)
  - 5 minutes over a temperature range of -55 °C to -40 °C (-67 °F to -40 °F)
- Average LED life of 60,000 hours under high-intensity conditions and more than 150,000 hours under typical operating conditions, resulting in significant reduction or even elimination of ongoing maintenance costs and periodic re-lamping expenses.
- Very low power rating of LED light units contributes to a lower life cycle cost. Limits cost for supporting equipment, such as CCRs, to strict minimum.
- Use of LED light source improves safety and pilot recognition by eliminating color shifts typical of incandescent light sources at lower intensity settings.
- For Style A (Voltage Powered) FAA systems, a separate Master Control Cabinet is not used. Master functionality is incorporated into the Primary Light Unit. This minimizes installation costs and provides for compliance with FAA Safety Management System requirements to clear the Runway Safety Areas (RSA) and Runway Obstacle Free Areas (ROFA) of all unnecessary obstacles. Distance from the voltage power supply is limited only by the incoming power wire size used. Operates on a wide input voltage range of 215 VAC to 265 VAC, 50/60 Hz and can be field re-configured to operate on a voltage range of 108 VAC to 132 VAC, 50/60 Hz.
- For Style B (Series Circuit Powered) systems, operates on either 3- or 5-step CCRs that are designed in compliance with IEC or FAA requirements

## Anexo B – Tabelas de preços das luminárias

### Hangar Norte

**Tabela 58 – Características das luminárias utilizadas no hangar Norte [17].**

hangar Norte Atual	Quantidade
3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF EP + 16GPA	2
Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	93
Steinel - 731113 RS 14 L	68
Philips Lighting - TMS028 2xTL-D36W HFP +GMS028 2x36W L	54
Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W	39
Feilo Sylvania Sylproof Superia Polycarbonate diffuser T8 2x36W	2
Iodetos metálicos (exterior) 1 000 W	12
Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W HFP +GMS028 W L	2
Total	272

**Tabela 59 – Orçamento hangar Norte LED [17].**

Modelo	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	30	33,6	1 008	<a href="https://www.elektrokode.nl/products/ledvance-dl-slim-value-dn205-22w-4000k-wt-4058075064027">https://www.elektrokode.nl/products/ledvance-dl-slim-value-dn205-22w-4000k-wt-4058075064027</a>
LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG IP65	75	431,07	32 330	<a href="https://www.getalamp.pt/ledvance-osram-high-bay-led-200-w-4000-k-bk-110deg-ip65.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRX_4GJAAPBk-gG2hQSUMC93GFY4JybTENwoHRFb8t1WEL6cmllDCocRoC5tgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/ledvance-osram-high-bay-led-200-w-4000-k-bk-110deg-ip65.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRX_4GJAAPBk-gG2hQSUMC93GFY4JybTENwoHRFb8t1WEL6cmllDCocRoC5tgQAvD_BwE</a>
Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	4	68,78	275	<a href="https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-11200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-11200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE</a>
Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	12	213,42	2 561	<a href="https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html">https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html</a>
3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO L1778	20	177,1	3 542	<a href="http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf">http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf</a>
3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO L1778	72	177,1	12 751	<a href="http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf">http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf</a>

Modelo	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
3F Filippi - A20125 3F Linux L 60 LED AMPIO L1778	4	177,1	708	<a href="http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf">http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf</a>
Total	217		53 176	

**Tabela 60 - Orçamento hangar Norte LED Philips [17].**

Modelo	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
LEDVANCE DL SLIM VALUE DN205 22W/4000K WT	30	33,6	1 008	<a href="https://www.elektrokode.nl/products/ledvance-dl-slim-value-dn205-22w-4000k-wt-4058075064027">https://www.elektrokode.nl/products/ledvance-dl-slim-value-dn205-22w-4000k-wt-4058075064027</a>
Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	33	190	6 270	<a href="http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018">http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018</a>
Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	4	68,78	275	<a href="https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE</a>
Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	85	455	38 675	<a href="file:///G:/Investigação/ODLI20180420-001_PDF_Catalogo-Tarifa-Illuminacion-interior-2018_ES2.pdf">file:///G:/Investigação/ODLI20180420-001_PDF_Catalogo-Tarifa-Illuminacion-interior-2018_ES2.pdf</a>
Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	25	350	8 750	<a href="http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018">http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018</a>
Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	12	213,42	2 561	<a href="https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html">https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html</a>
Total	189		57 539	

## Hangar SUL

**Tabela 61 - Características das luminárias utilizadas no hangar Sul [17].**

Hangar Sul Atual	Quantidade
Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W HFP	99
Rexel Finland - 4320741 LR-144EG/1x36W/IP3	7
3F Filippi - 5256+A0402 3F Linda Inox HF EP	2
Steinel - 731113 RS 14 L	5
Iodetos metálicos (exterior) 1 000 W	6
Eaton's Crouse-Hinds Business - VMVS2A400GRD4	63
Total	182

**Tabela 62 - Orçamento hangar Sul LED [17].**

Modelo	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
3F Filippi - A20126 3F Linux L 50 LED AMPIO L1778	77	177,1	13 637	<a href="http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf">http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf</a>
Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	68,78	138	<a href="https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBR AVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZ oG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBR AVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZ oG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE</a>
LEDVANCE HighBayLED 200W/4000K 110DEG IP65	63	431,07	21 157	<a href="https://www.getalamp.pt/ledvance-osram-high-bay-led-200-w-4000-k-bk-110deg-ip65.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRX_4GJAApBk-gG2hQSUMC93GFY4JybTENwoHRFb8t1 WEL6cmllDCocRoC5tgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/ledvance-osram-high-bay-led-200-w-4000-k-bk-110deg-ip65.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRX_4GJAApBk-gG2hQSUMC93GFY4JybTENwoHRFb8t1 WEL6cmllDCocRoC5tgQAvD_BwE</a>
Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	6	213,42	1 281	<a href="https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html">https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html</a>
Total	148		42 212	

**Tabela 63 - Orçamento hangar Sul LED Philips [17].**

Modelo	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
Philips Lighting - LL120X 1xLED160S/840 DA20	32	350	11 200	<a href="http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018">http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018</a>
Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	6	190	1 140	<a href="http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018">http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018</a>
Philips Lighting - WT120C L1500 1xLED60S/839	2	68,78	138	<a href="https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE">https://www.getalamp.pt/philips-wt120c-led40s-840-psu-l1200-coreline-waterproof.html?gclid=CjwKCAjwxZnYBRAVEiwANMTRXw18bAjCda_FpA4YH4bZoG1e7jMrm-SOXkbeqI4Q3a6ZEB-FV7sA1BoCWzgQAvD_BwE</a>
Philips Lighting - BY121P G3 1xLED205S/840 WB	72	455	32 760	<a href="file:///G:/Investigação/ODLI20180420-001_PDF_Catalogo-Tarifa-Iluminacion-interior-2018_ES2.pdf">file:///G:/Investigação/ODLI20180420-001_PDF_Catalogo-Tarifa-Iluminacion-interior-2018_ES2.pdf</a>
Foco Projector LED SMD 300W 135lm/W HE PRO	6	213,42	1 281	<a href="https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html">https://www.efectoled.com/pt/comprar-serie-eco/984-foco-projector-led-smd-300w-120lm-w.html</a>
Total	118		46 518	

SAS

**Tabela 64 - Características das luminárias utilizadas na SAS [17].**

SAS Atual	Quantidade
Philips Lighting - TMS028 2xTL-D58W HFP	4
Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD4	1
Eaton's Crouse-Hinds Business - VMV VMVS2A400GRD5	1
Total	6

**Tabela 65 - Orçamento da SAS LED Philips [17].**

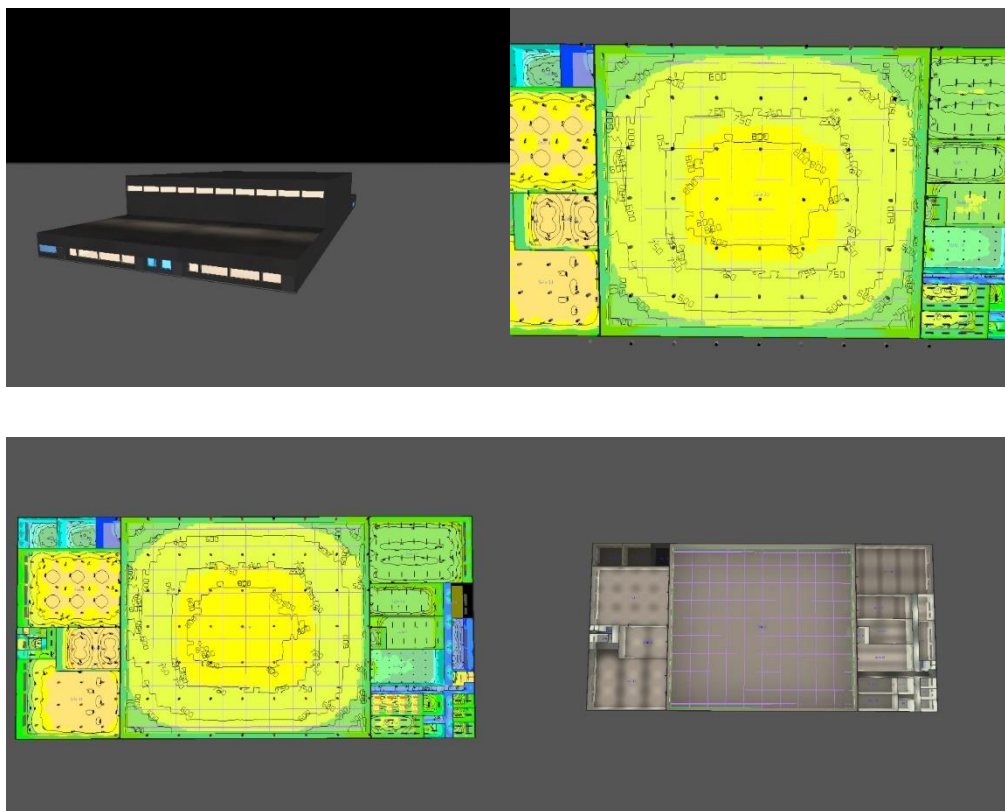
SAS Led Philips	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	4	190	760	<a href="http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018">http://www.lighting.philips.es/soporte/tarifa-alumbrado-2018</a>
Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	190	380	
Philips Lighting - LL121X 1xLED75S/865 O	2	190	380	
Total	8		1 520	

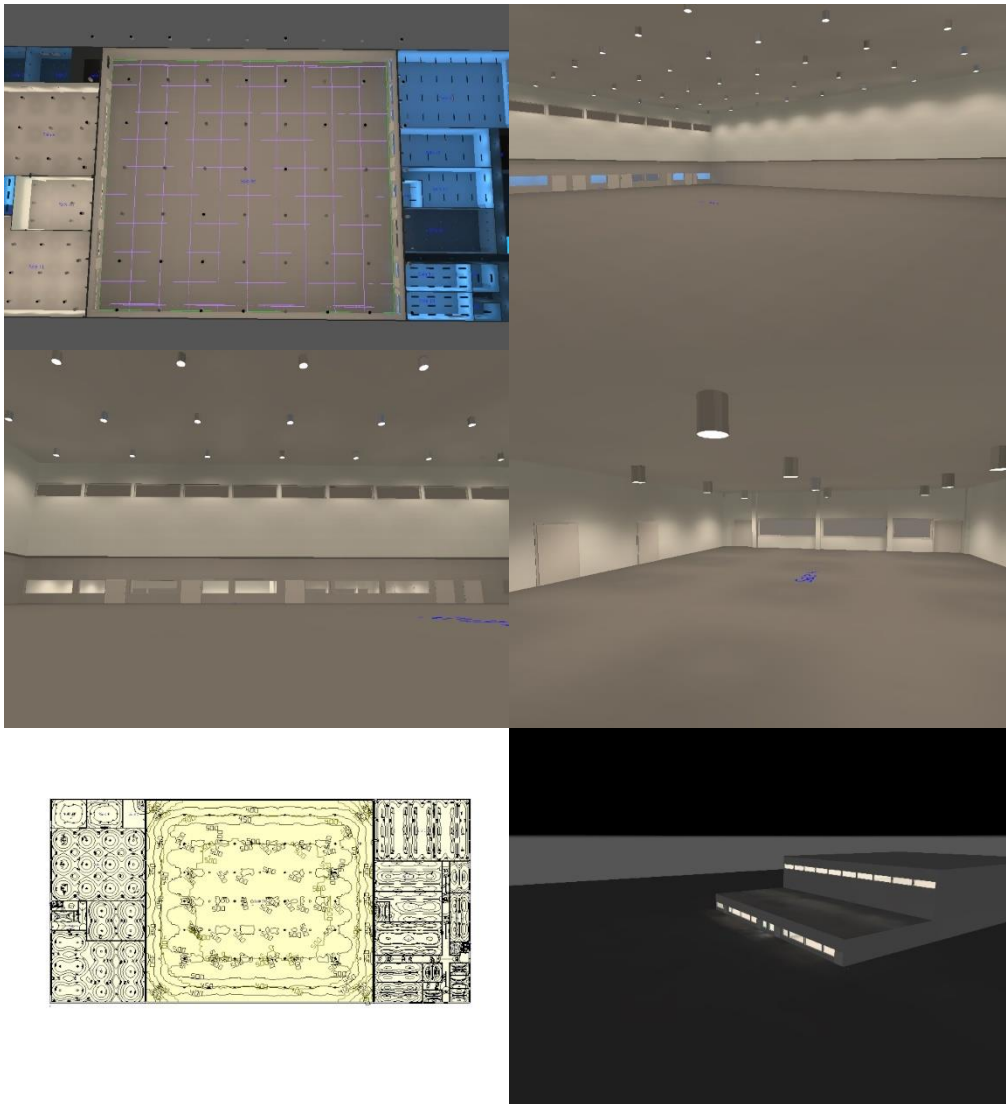
**Tabela 66 – Orçamento da SAS LED [17].**

SAS Led	Quantidade	Preço (Unidade)	Preço Total	Site de pesquisa dos preços
3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	4	177,1	708	<a href="http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf">http://www.3f-filippi.it/dati/download/advertising/Brochure_3F_Linux.pdf</a>
3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	177,1	354	
3F Filippi - A20127 3F Linux L 40 LED AMPIO	2	177,1	354	
Total	8		1 417	

## *Anexo C – Imagens dos Hangares realizado no DIALux*

### Hangar Norte





## Hangar Sul

